



Mediciones a Alta Velocidad y Procesamiento de Señales para Monitoreo de Condición de Máquinas

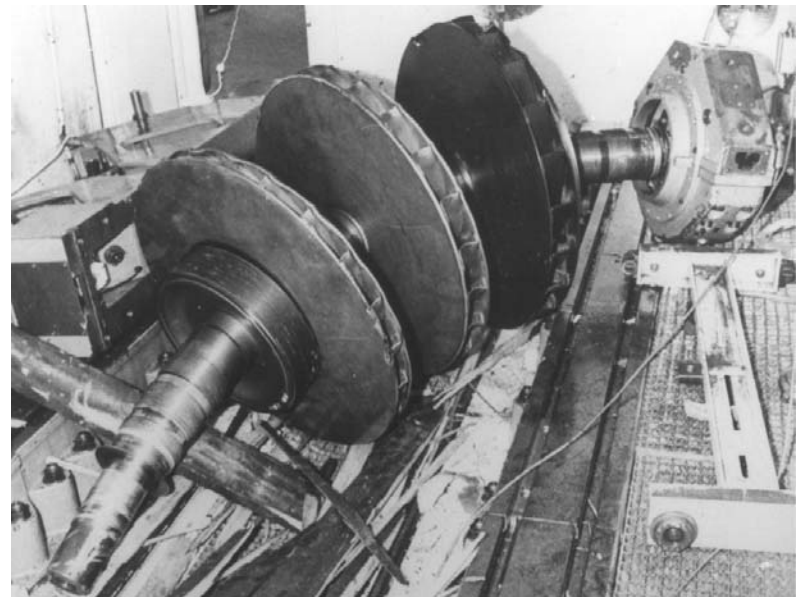
Ing. Javier Olea
Ingeniero de Campo
Noreste de México

Descripción

- Aprenda sobre tecnologías y configuración de un sistema de medición físico, incluyendo adquisiciones de señales a alta velocidad y análisis embebido y procesamiento de señales. Además, explore las consideraciones cuando seleccione una plataforma de monitoreo de condición de máquina. También conozca las nuevas herramientas de LabVIEW FPGA para análisis en línea, filtrado, y procesamiento de señales.

Aplicación de Mediciones Físicas y Procesamiento de Señales

- ¿Ha tenido fallas inesperadas en máquinas?
- ¿Cómo mejoraría sus máquinas para prevenir fallas?



¡Un sistema de monitoreo
pudo haber pronosticado
esta falla!

Monitoreo de Rodamientos de Compresor



Toyota Motor Manufacturing
Georgetown, KY

*Fallas de máquinas y
tiempo muerto
documentado*

Calificación
de
Rodamientos



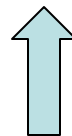
Dientes de
engranes
doblados,
rotor atorado,



*Necesidades de mantenimiento de
Toyota ACU: reducir impacto y
juego*

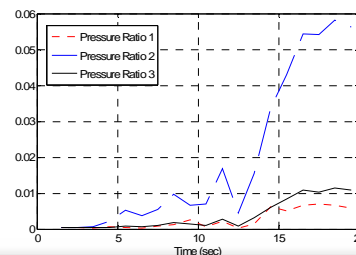


Compresor de Aire Centac



*Integrado a
lógica de control*

*Nuevo mapa de modelo, cambios
en condiciones de ambiente*



*Sistema de adquisición de
datos NI PXI-4472 instalado*



*Análisis de datos en el Centro
IMS y documentación del proyecto*



Monitoreo de Refrigeración

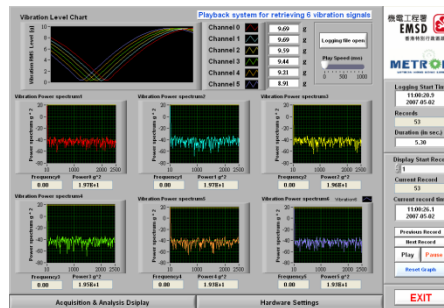


Torre de Control del
Aeropuerto Internacional de
Hong Kong

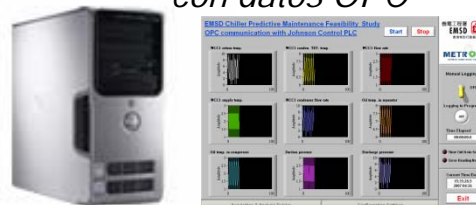


Refrigerador con 6 acelerómetros

Sistema de adquisición de
datos NI PXI-4472 para
señales de vibración



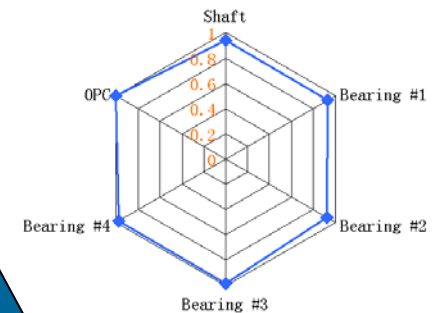
Servidor de almacenamiento
con datos OPC



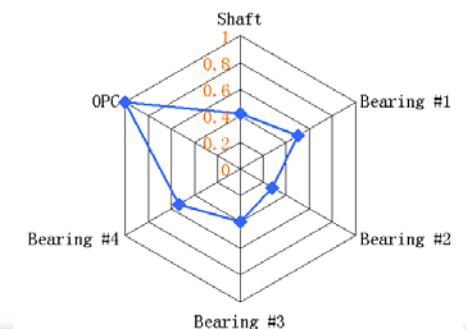
Servidor OPC
Johnson Controls



Vibración Normal



Vibración anormal y
fallas mecánicas

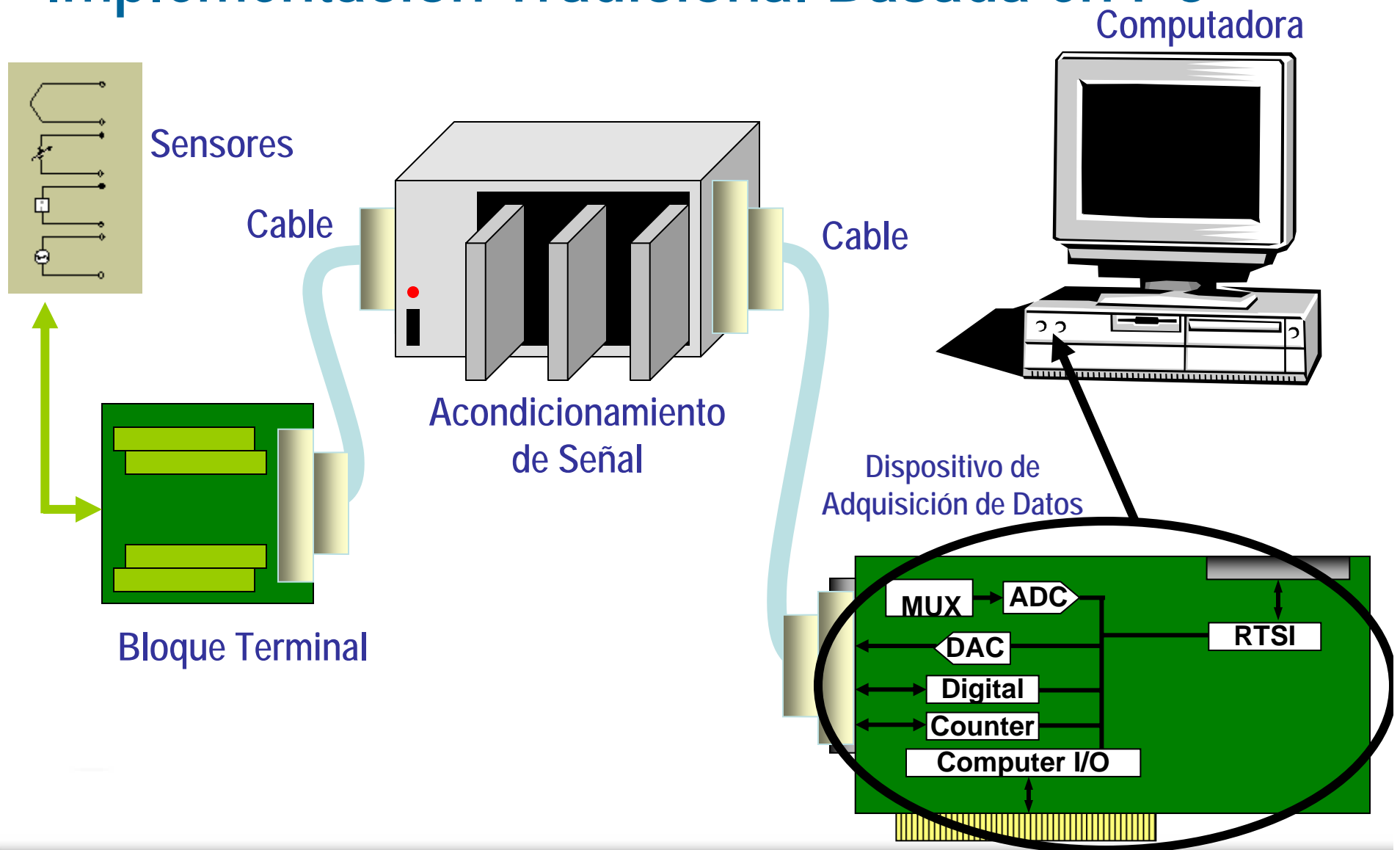


Subsistema de Medición a Alta Velocidad

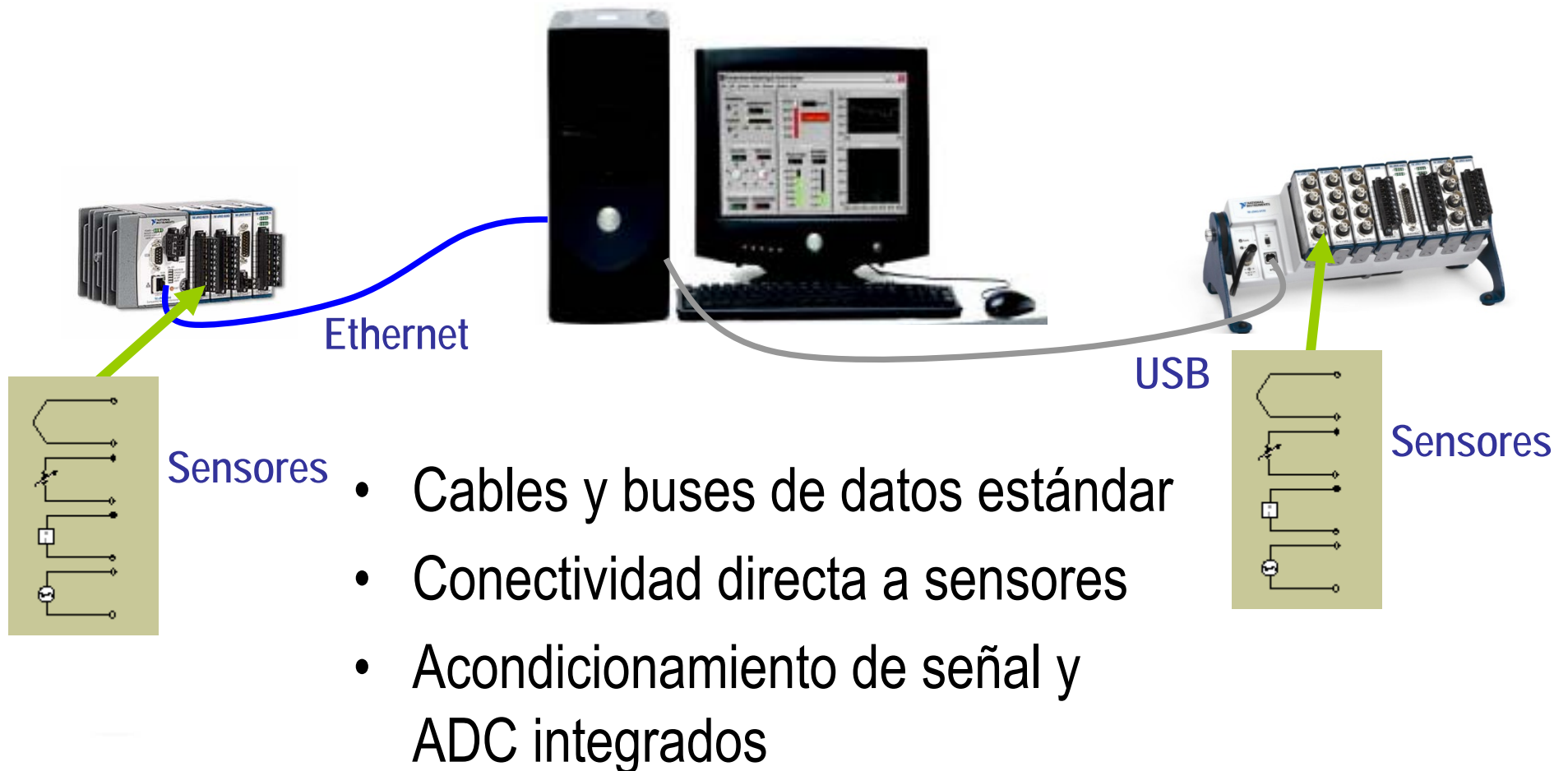
Todos los sistemas de monitoreo tienen estos componentes en común:



Implementación Tradicional Basada en PC



Implementación Moderna Basada en PC



Cambios de Tecnología y sus Beneficios

Optoacopladores
Analógicos



Aislamiento
Óptico MEMS

*Costo más bajo
y más pequeño*

Arquitectura
Multiplexada



Arquitectura de
Multi-ADC

*Entradas de
señales mixtas*

ADCs de Baja
Resolución



ADCs de Alta
Resolución

*Mejor calidad
en medición*

Procesamiento
Básico



Análisis
Avanzado

*Mejora en toma
de decisiones*

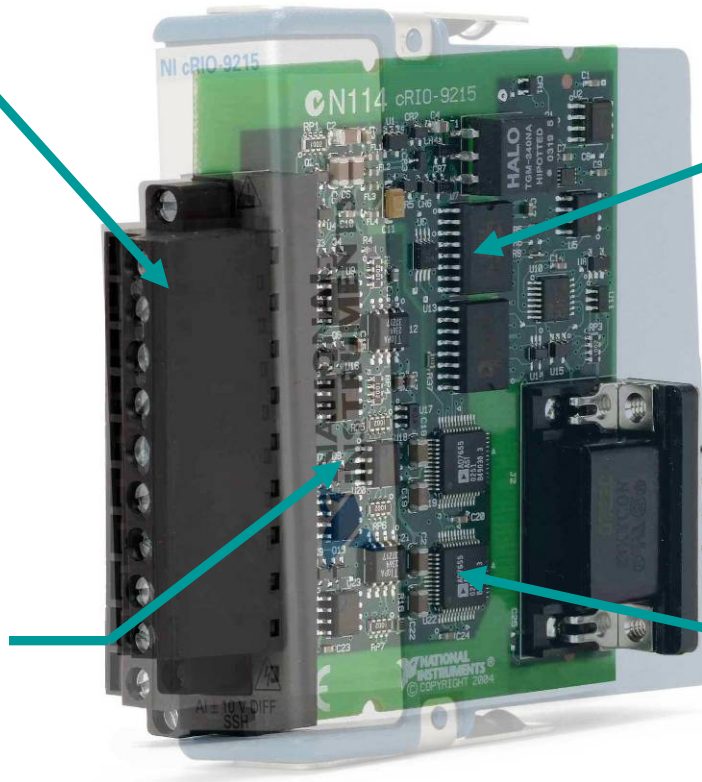
Interior de un Módulo de E/S

Conectividad Directa

Terminales de tornillo,
BNC, conectores D-Sub
para sensores y
actuadores industriales

Acondicionamiento Incluido

Amplificación, filtros antialias,
complemento a puentes,
compensación en frío,
alimentación a sensores, IEPE,
TEDS



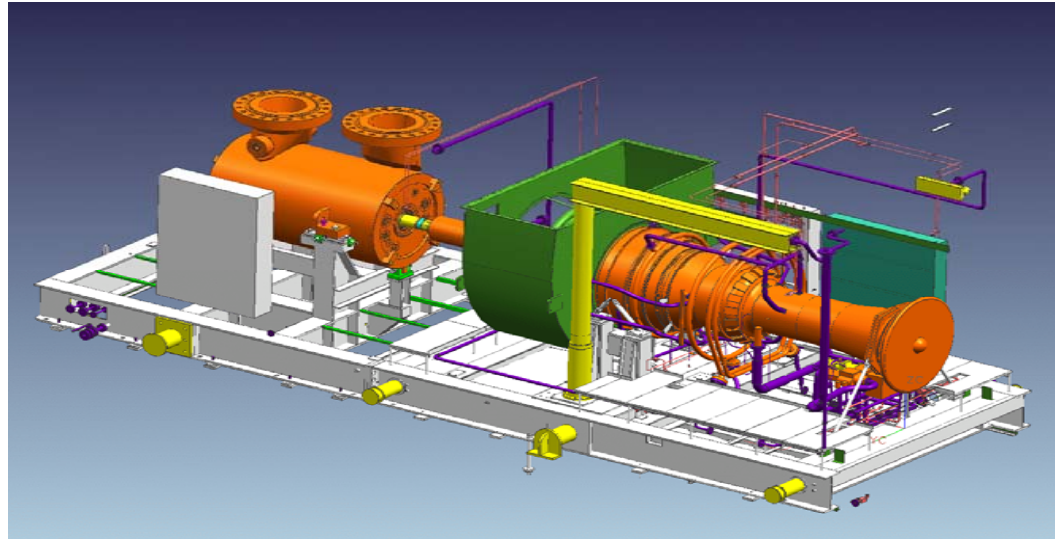
Barrera de Aislamiento

Seguridad, inmunidad
al ruido, rechazo en
modo común

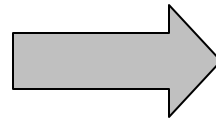
ADCs Avanzados

24 bits, delta-sigma,
muestreo simultáneo,
hasta 800 kS/s,
calibración NIST

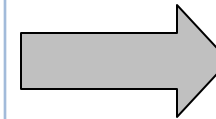
Caso de Estudio: Sistema de Monitoreo de Máquinas



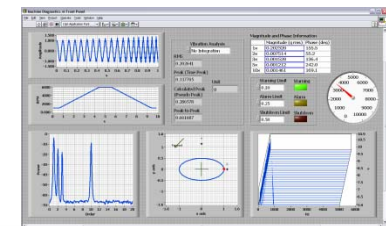
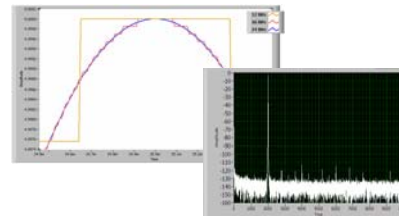
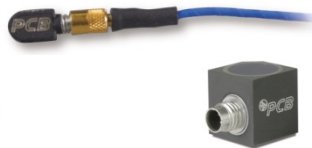
Transductor
y Acond.



ADC



Software de
Análisis



Transductores y Acondicionamiento de Señales

| Fenómeno | Transductor | Acondicionamiento de Senal |
|---------------------------|--|--|
| Temperatura | Termopares RTDs Termistores | Amplificación, Linearización, Compensación en Frío, Excitación de Corriente |
| Proximidad | Interruptores de Límite Interruptores de Proximidad | Alimentación |
| Vibración | Acelerómetros Puntas de Proximidad | Excitación de Corriente, Acoplamiento AC, Alimentación de Corriente "Eddy" |
| Fuerza y Presión | Galgas Extensiométricas Celdas de Carga | Excitación de Voltaje, Complemento de Puente, Linearización |
| Posición y Desplazamiento | Potenciómetros LVDTs Tacómetros | Excitación de Voltaje RMS |
| Flujo | Medidores de Flujo Rotacionales | Excitación, Filtrado |

¿Porqué Utilizar Acondicionamiento de Señal?



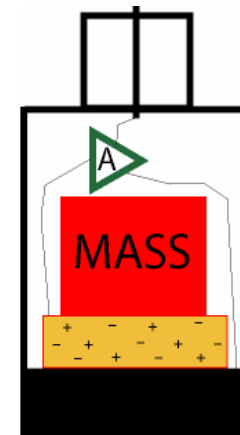
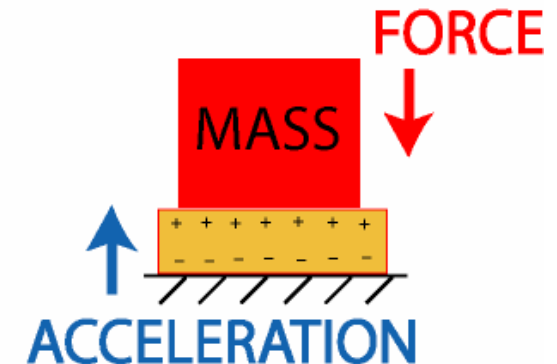
- Mejora las señales para mejor calidad en medición
- Alimenta o excita sensores
- Lee información del sensor – TEDS
- Protege al usuario y al sistema

Operación del Acelerómetro

- En un acelerómetro, se acopla una masa sísmica un cristal piezoeléctrico. La fuerza generada por la masa es causada por su momento, la cual se opone a la aceleración aplicada.
- La fuerza y la señal de salida resultante son proporcionales a la aceleración de acuerdo a la Ley de Newton, $F=mA$.
- El elemento sensible a la aceleración está montado en un empaque protector.
- Se incluye un amplificador para amplificar señales pequeñas a los rangos de mV-V.

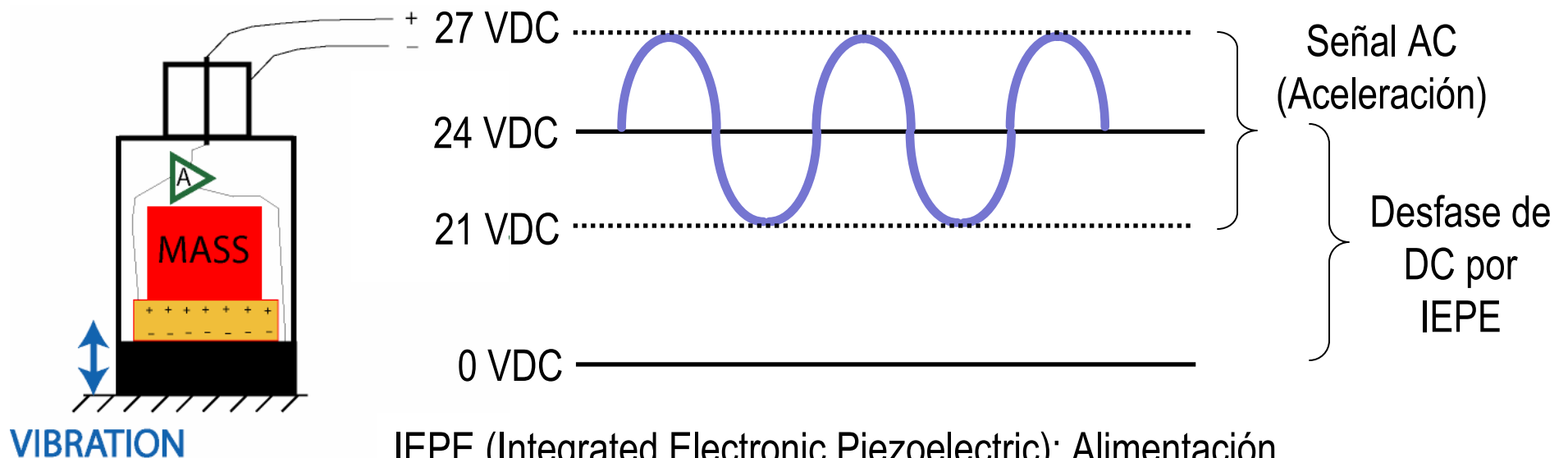
Tip de Monitoreo de Máquinas: Los acelerómetros se montan típicamente en los encapsulados de rodamientos y cajas de engranes para monitorear vibraciones.

$$F=mA$$
$$A=F/m$$



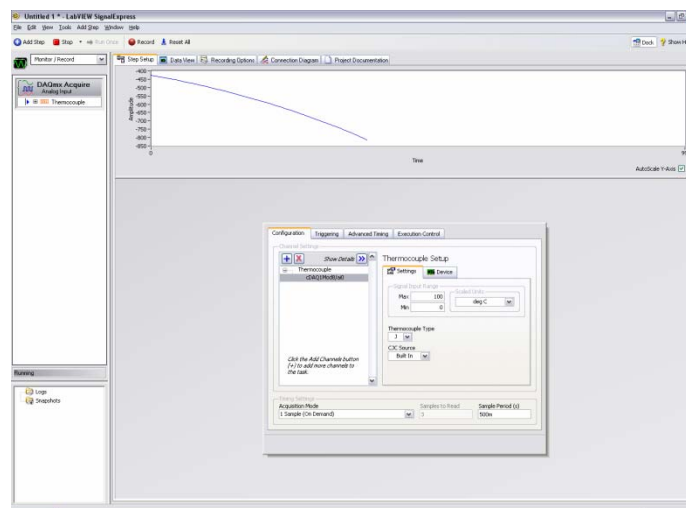
Acondicionamiento de Señal en Acelerómetros

- Cuando un acelerómetro se expone a vibración, genera una señal de salida analógica que es proporcional a la aceleración de la vibración aplicada.



IEPE (Integrated Electronic Piezoelectric): Alimentación del acelerómetro para amplificador interno de 2 a 20 mA de corriente constante; 18 a 30 VDC

Demostración : Configuración del Sistema y Medición de Acelerómetro



Demo 1

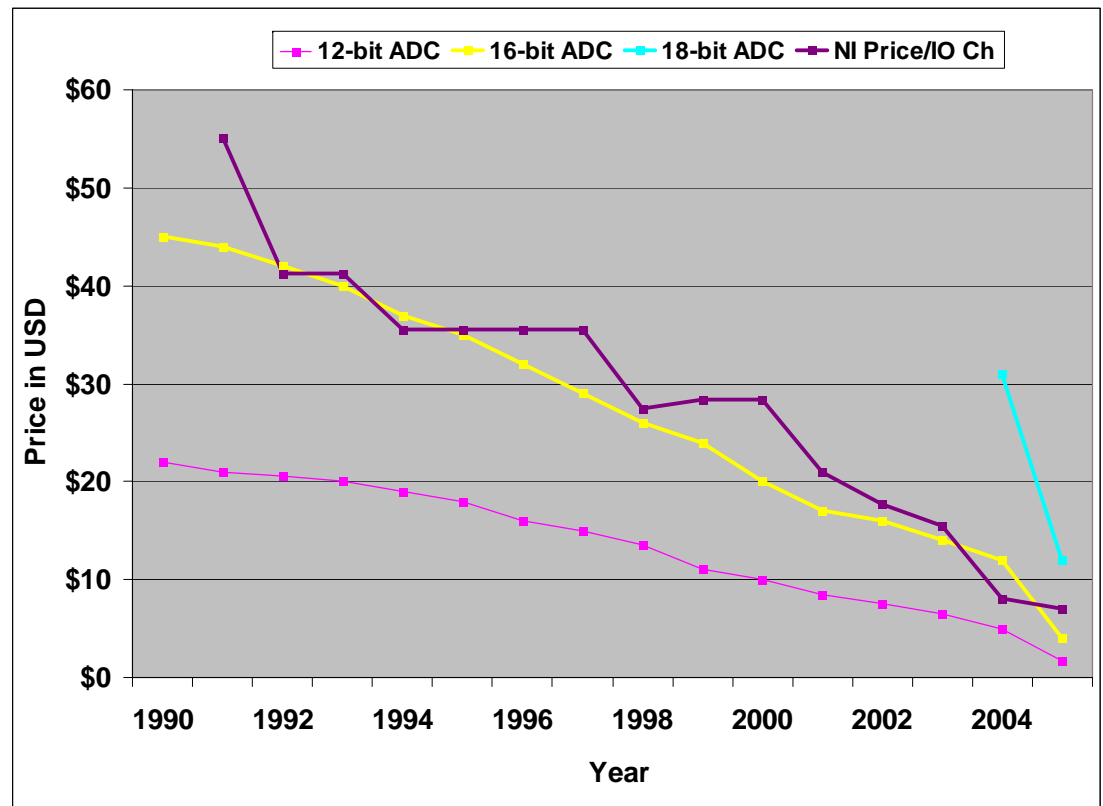
Desempeño y Precio de Convertidores Analógico-Digital

Decremento en Precio de ADCs

- ADCs de 16 bits cuestan 85% menos que hace 10 años

Incremento en Desempeño de ADCs

- Resolución de 24 bits
- Rango dinámico de hasta 102 dB
- Filtros antialias integrados
- Arquitectura de muestreo simultáneo y múltiples ADCs



Comprendiendo el Desempeño de ADCs

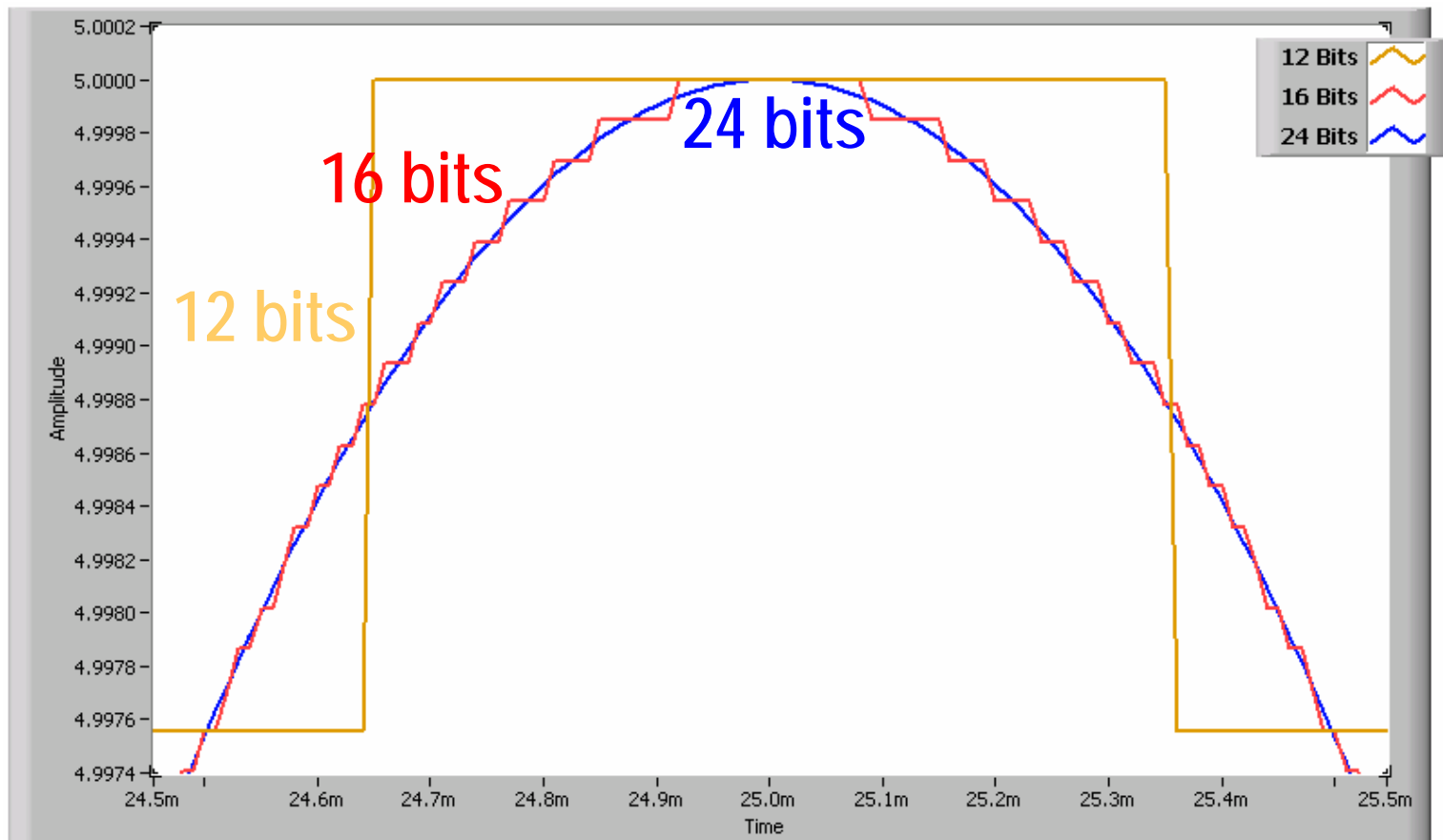
- Resolución = # de bits que el ADC utiliza para representar una señal
 - Determina cuántos cambios diferentes de voltaje pueden ser medidos

$$\# \text{ de niveles} = 2^{\text{resolución}} = 2^{16} = 65,536 \text{ niveles}$$

- Tamaño de palabra (*code width*) es el cambio en señal más pequeño que puede detectar su sistema
 - Tamaño de palabra más pequeña = representación más precisa de señal

$$\begin{aligned} \text{Tamaño de Palabra} &= \frac{\text{rango}}{\text{amplificación} * 2^{\text{resolución}}} = \frac{20 \text{ V}}{1 * 2^{16}} = 305 \mu\text{V} && \text{ADC 16 bits} \\ &= \frac{20 \text{ V}}{1 * 2^{24}} = 1.19 \mu\text{V} && \text{ADC 24 bits} \end{aligned}$$

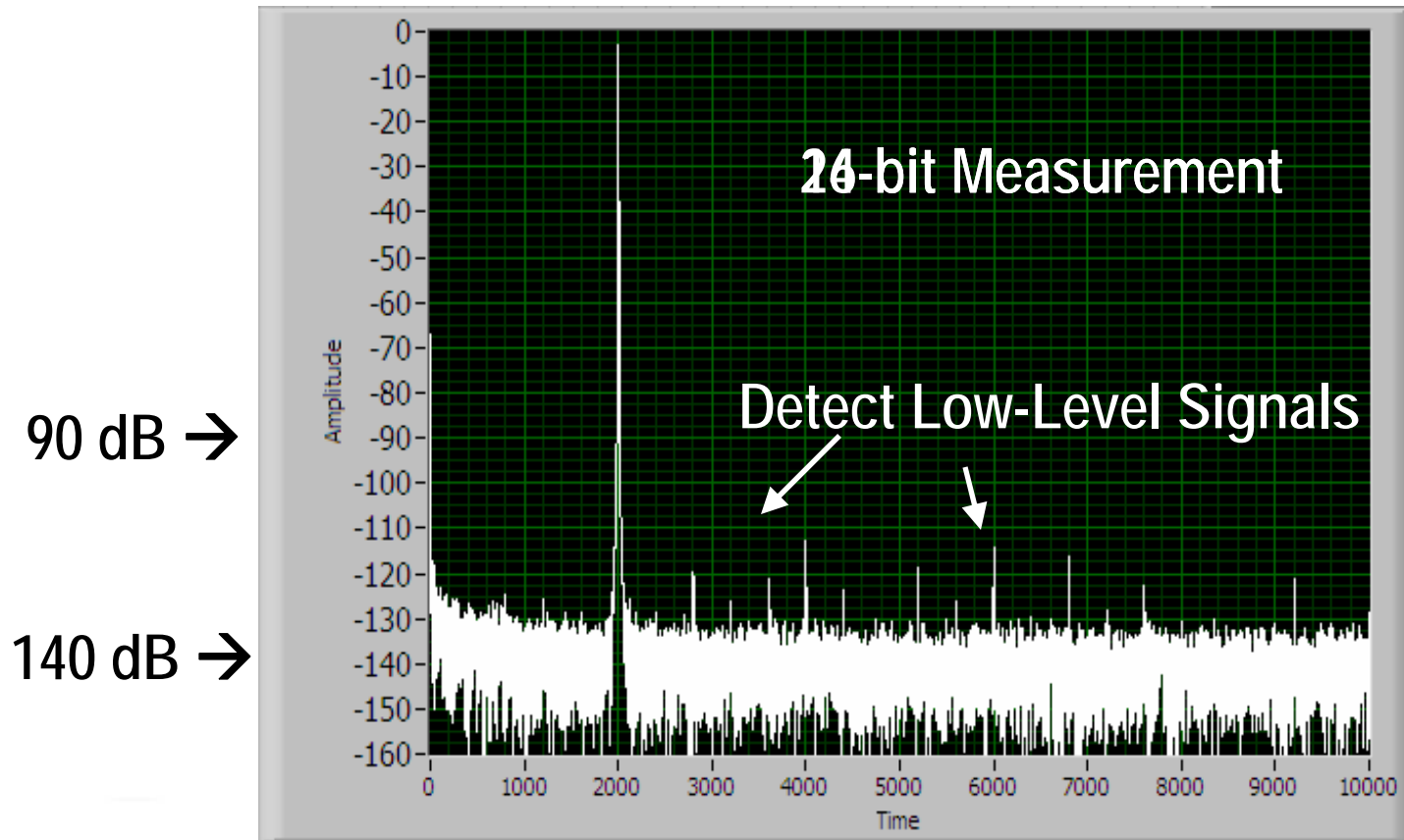
Demostración: ADCs de 16 Bits contra ADCs de 24 Bits



Demo 2

Efecto de la Resolución de ADCs

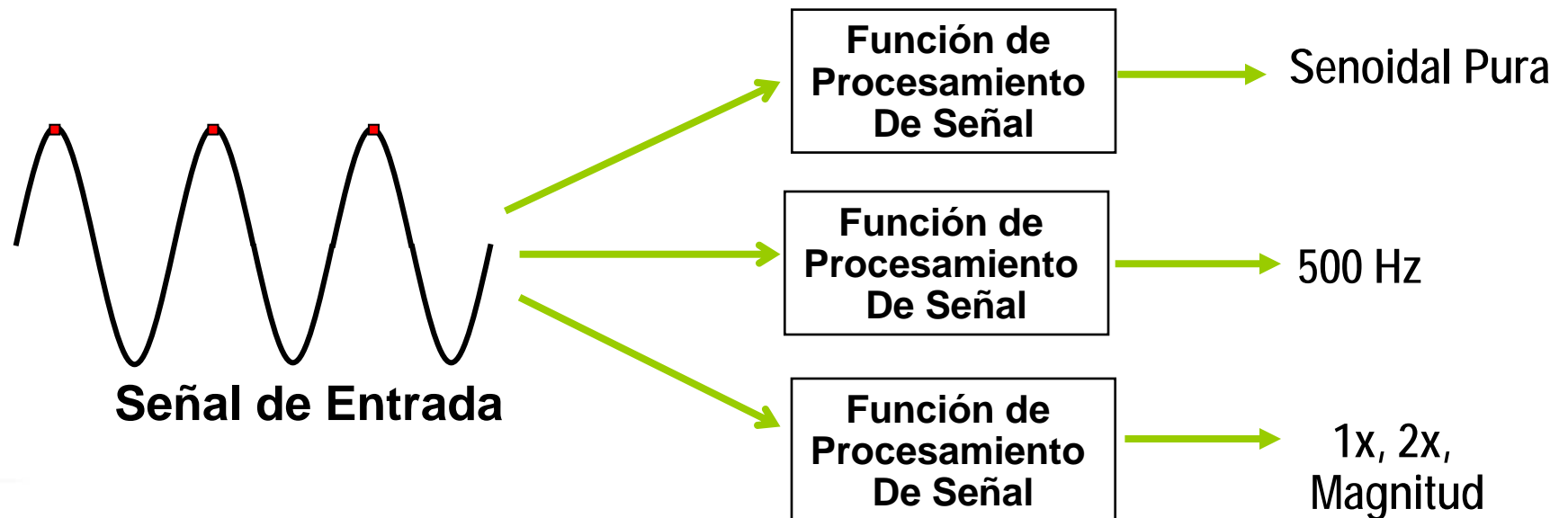
Con ADCs de alta resolución, puede detectar componentes de señal débiles y fuertes al mismo tiempo.



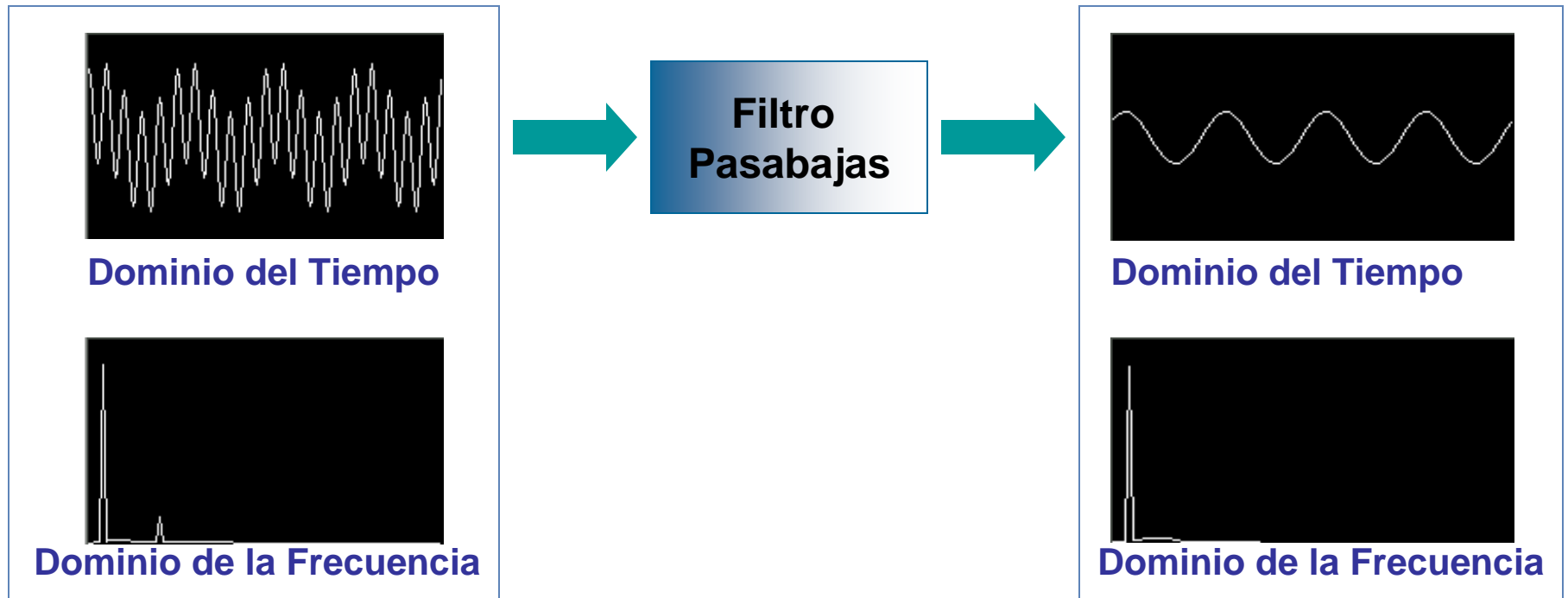
Tip de Monitoreo de Máquinas: Los ADCs de 24 bits cuentan con el rango dinámico para detectar vibraciones pequeñas más rápido para agendar reparaciones

Software de Análisis y Procesamiento de Señales

- Filtrado de componentes no deseadas
- Determinación de frecuencia
- Análisis de orden



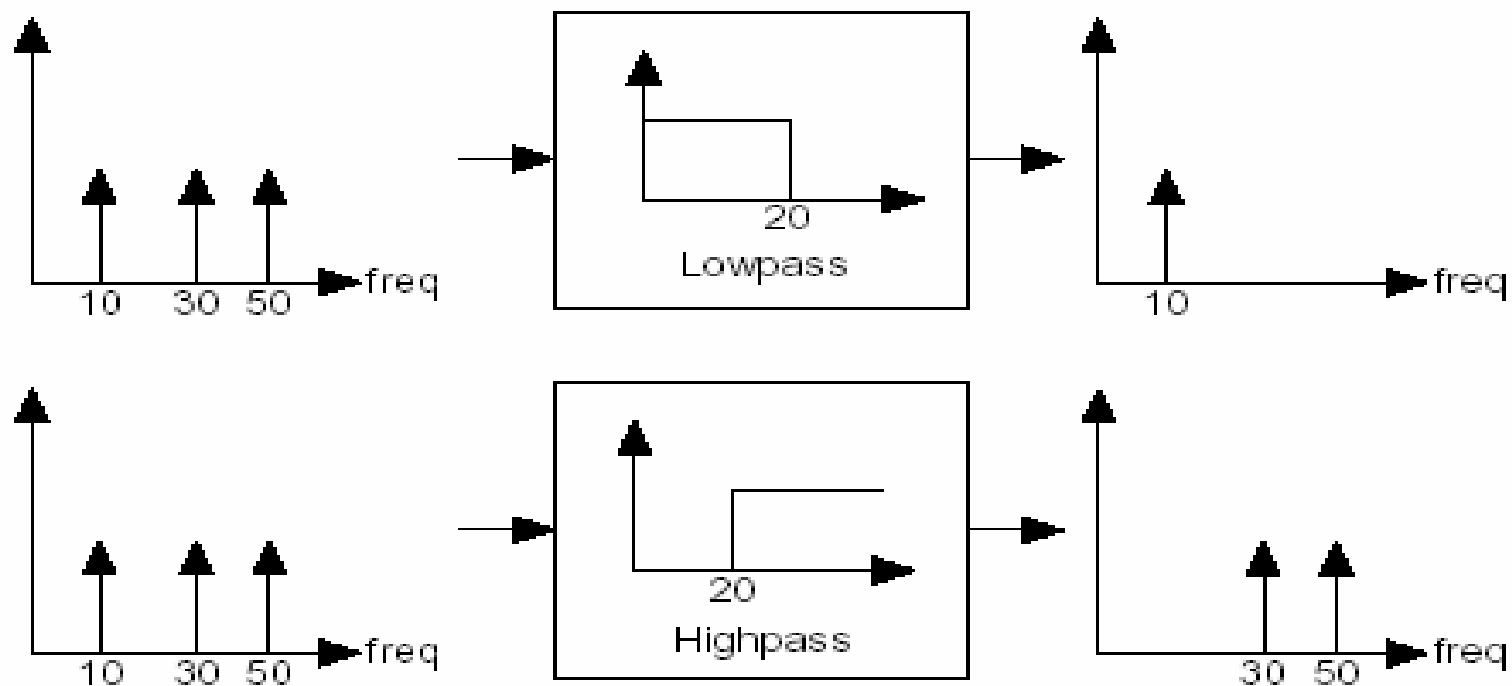
Filtrado



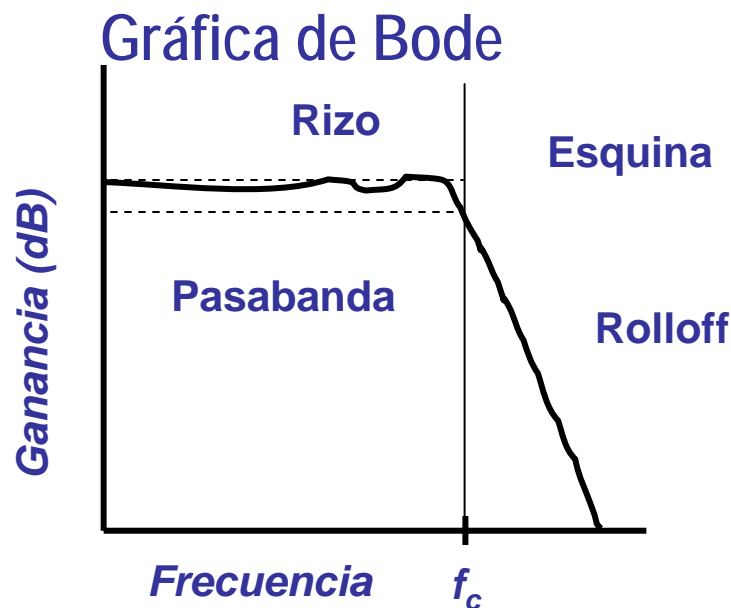
- Remueve ruido
- Bloquea frecuencias no deseadas
- Funciona para implementaciones analógicas y digitales

Filtros Ideales

Filtros Pasa-bajas y Pasa-altas



Filtros Prácticos (No ideales)



- Pasabanda – frecuencias que permite pasar el filtro
- Rizo – efecto del filtro en la amplitud de la señal
- Esquina – frecuencia a la que el filtro empieza a bloquear la señal
- Rolloff – limpieza con la que el filtro corta la señal

Comparando Implementaciones

Filtros Digitales(Software)

- Programable por software
- Fácil de implementar
- Estable y predecible
- No cambian con el tiempo y cambios de manufactura

Filtros Análogos(Hardware)

- Funcionalidad fija
- La señal es filtrada antes del ADC
- Menos demandante de procesador
- Útil para antialias

Clasificación de Filtros Digitales

Diseñar filtros digitales implica realizar compromisos para enfatizar características que deseas contra características que no deseas.

IIR - Respuesta Infinita al Impulso

- Más rápidos
 - Pueden obtener los mismos niveles de atenuación que los filtros FIR pero con menos coeficientes
 - Operación más efectiva de filtraje
 - Respuesta de fase no-lineal
 - Útil para aplicaciones que no requieren información de fase como aplicaciones de monitoreo de señales
- Por lo general utiliza menos hardware o menos código por lo que son más económicos

FIR – Respuesta Finita al Impulso

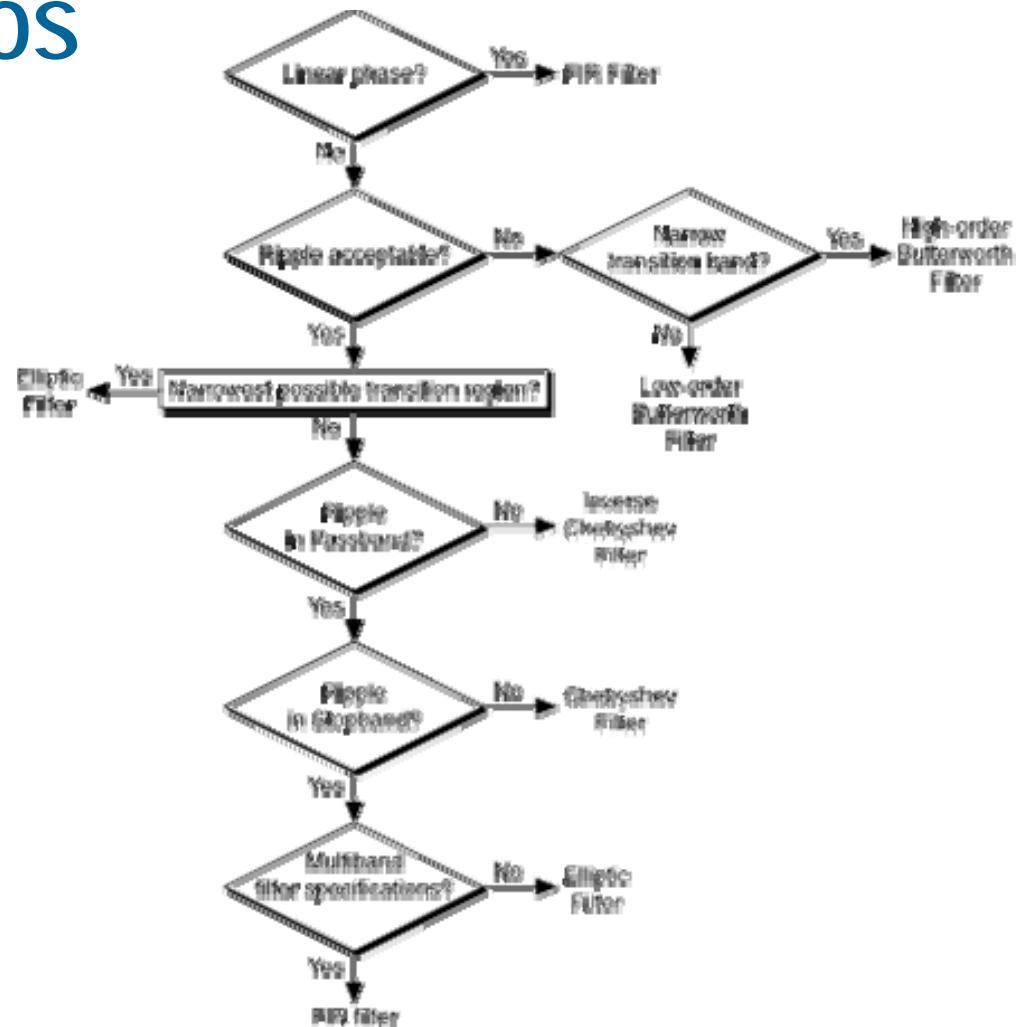
- Por lo general más lentos y requieren mas procesamiento
- Respuesta de fase lineal
 - Requeridos en aplicaciones con filtrado pasabanda

*Tip de Monitoreo de Máquinas:
Los filtros antialias se aseguran de que las señales medidas no contengan componentes falsas.*

Seleccionando Filtros

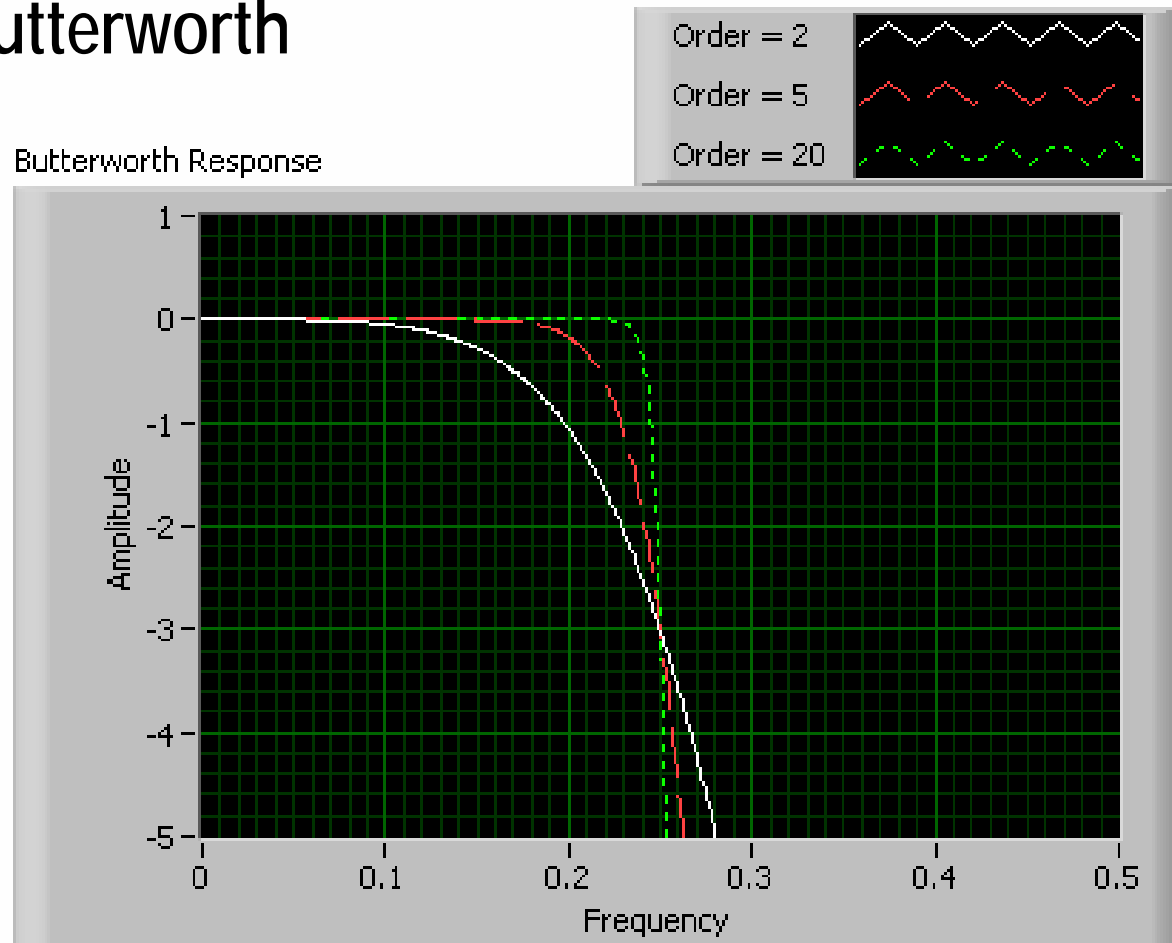
Conteste las siguientes preguntas para seleccionar un filtro para una aplicación:

- ¿Su análisis requiere de respuesta de fase lineal?
- ¿Su análisis puede tolerar fluctuaciones (ripples)?
- ¿Su análisis requiere una banda de transición angosta?



Tipos de Filtros IIR

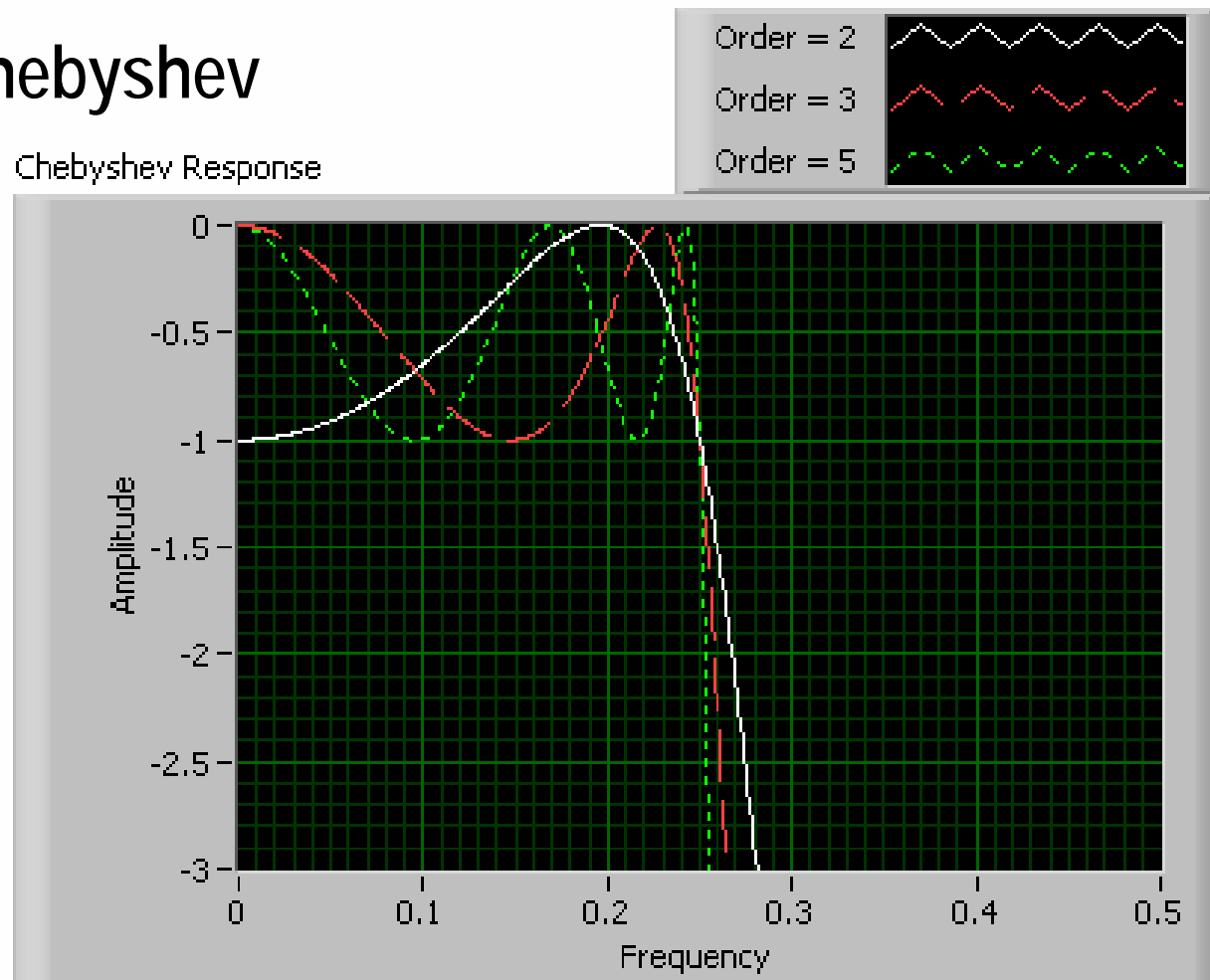
Butterworth



Tipos de Filtros IIR

Chebyshev

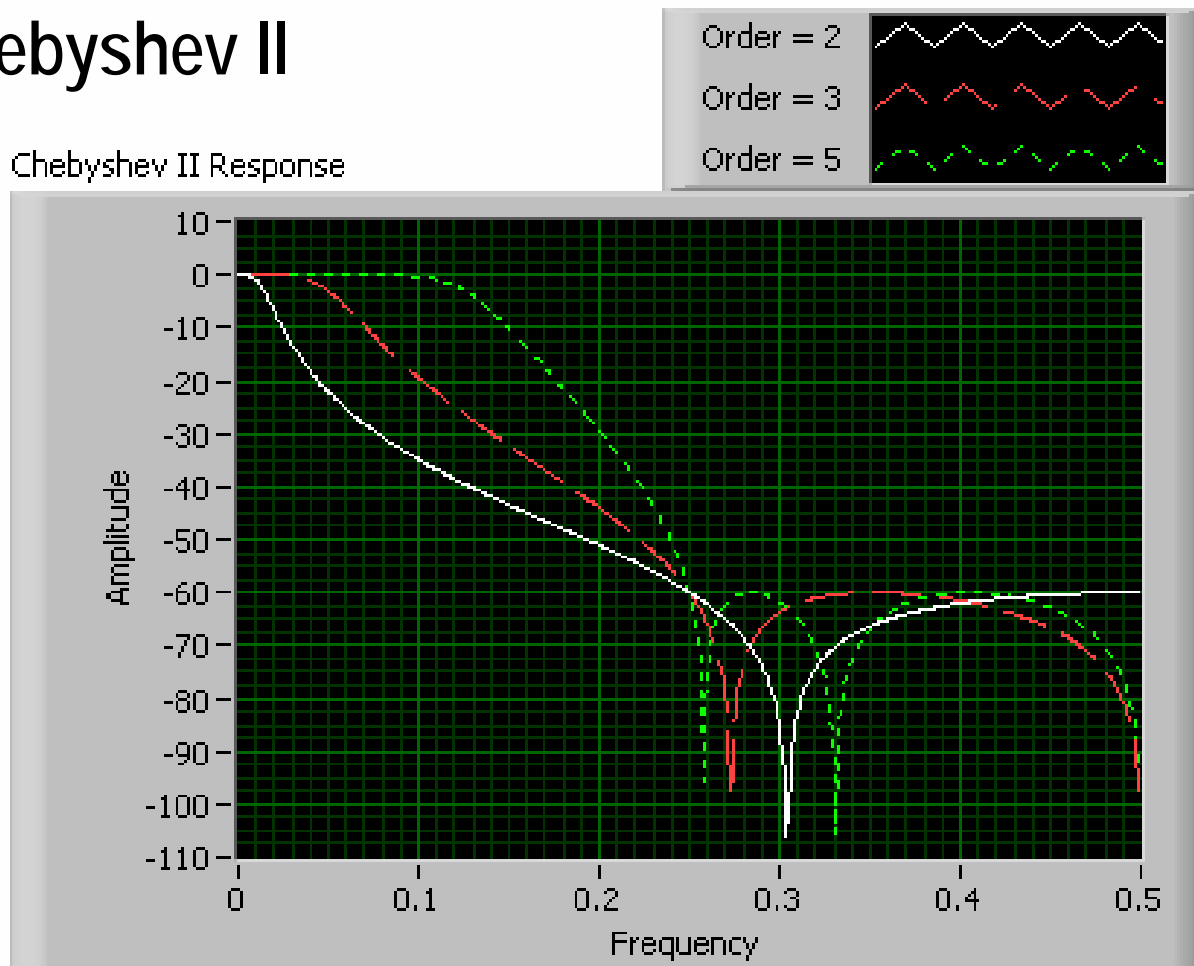
Chebyshev Response



Tipos de Filtros IIR

Chebyshev II

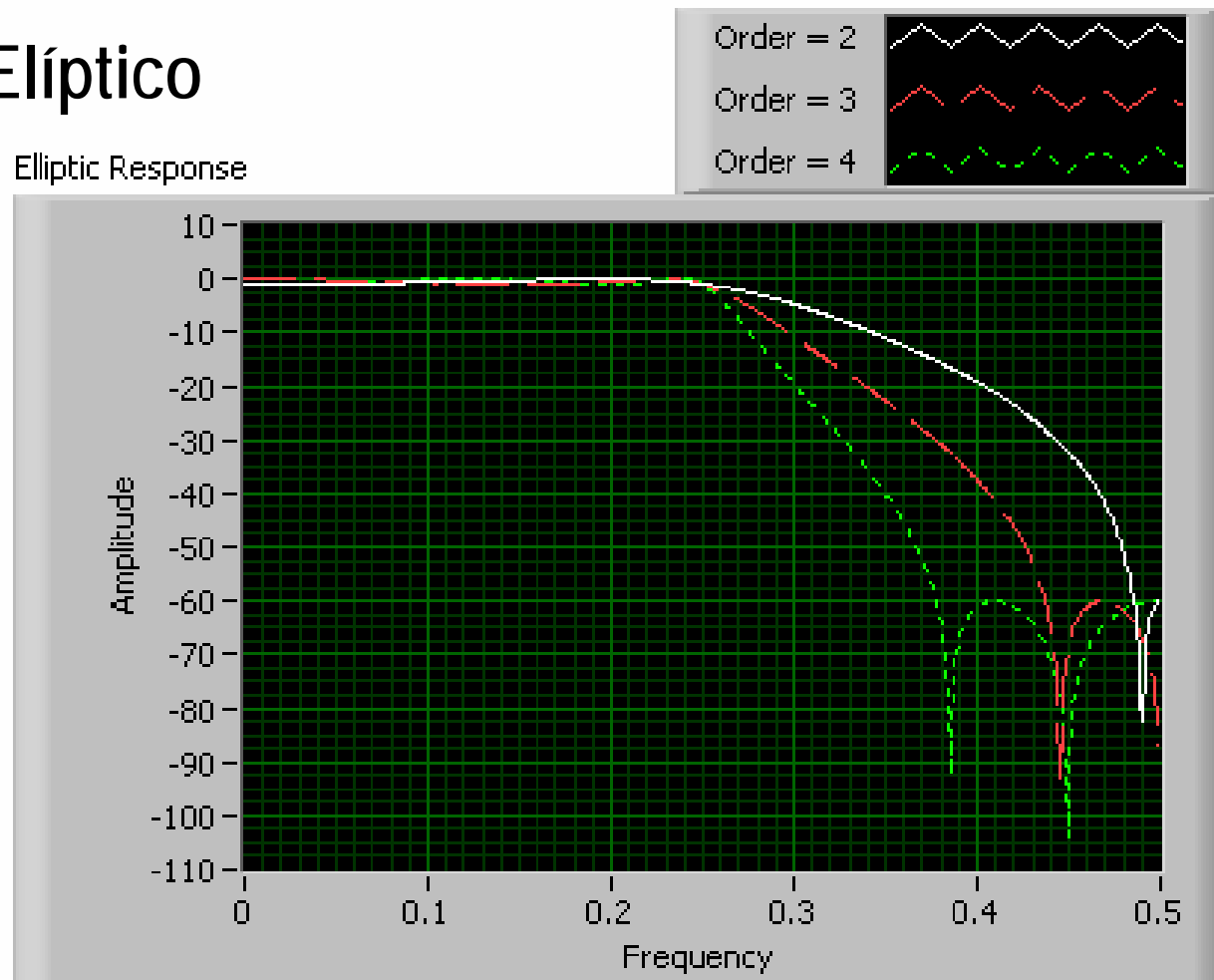
Chebyshev II Response



Tipos de Filtros IIR

Elíptico

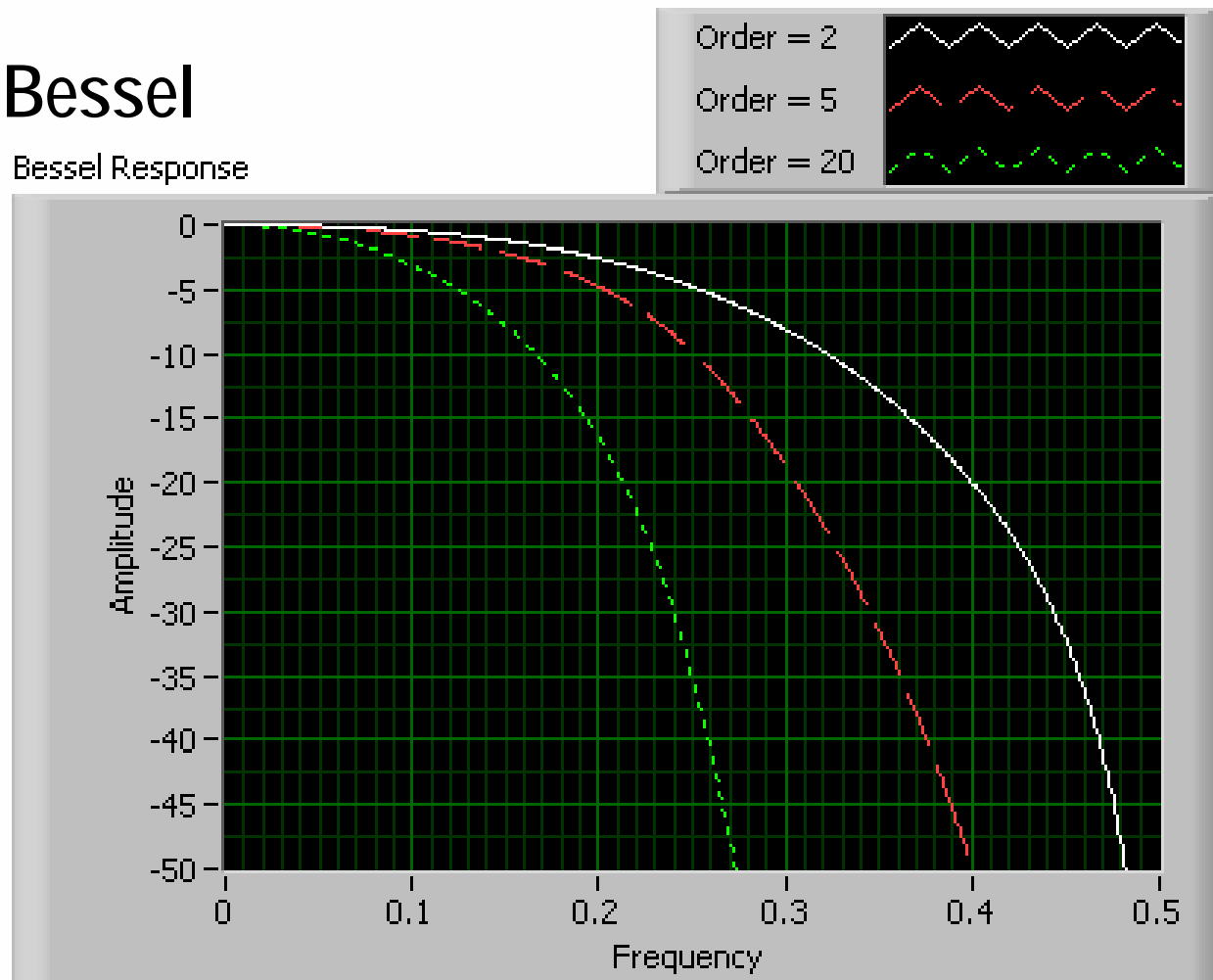
Elliptic Response



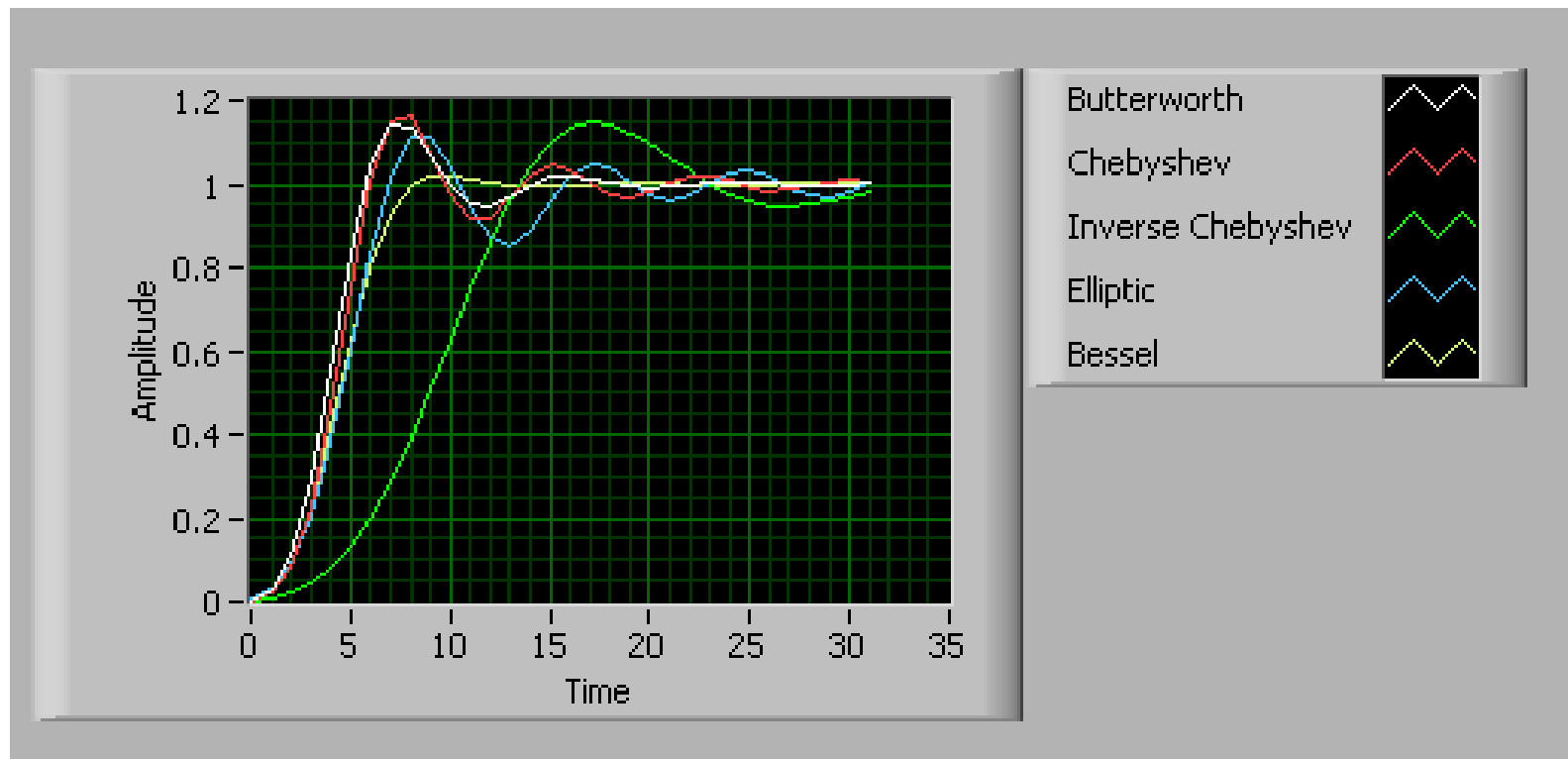
Tipos de Filtros IIR

Bessel

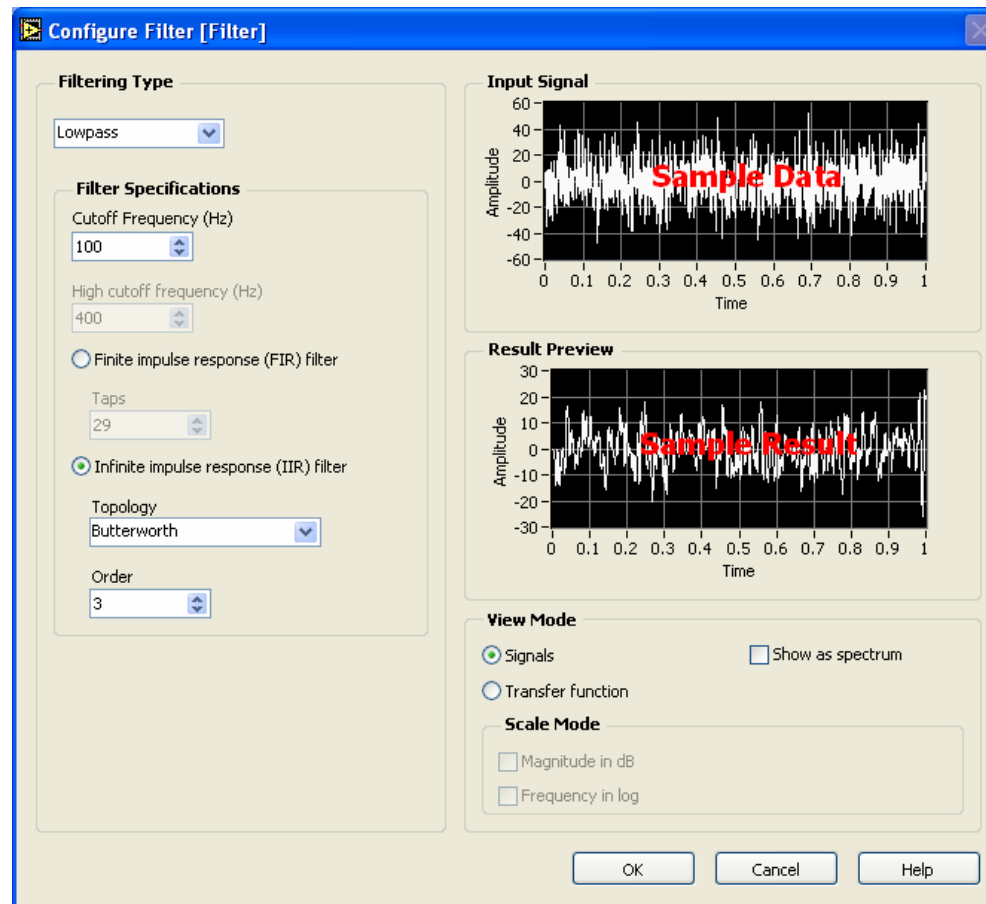
Bessel Response



Comparación de Filtros IIR



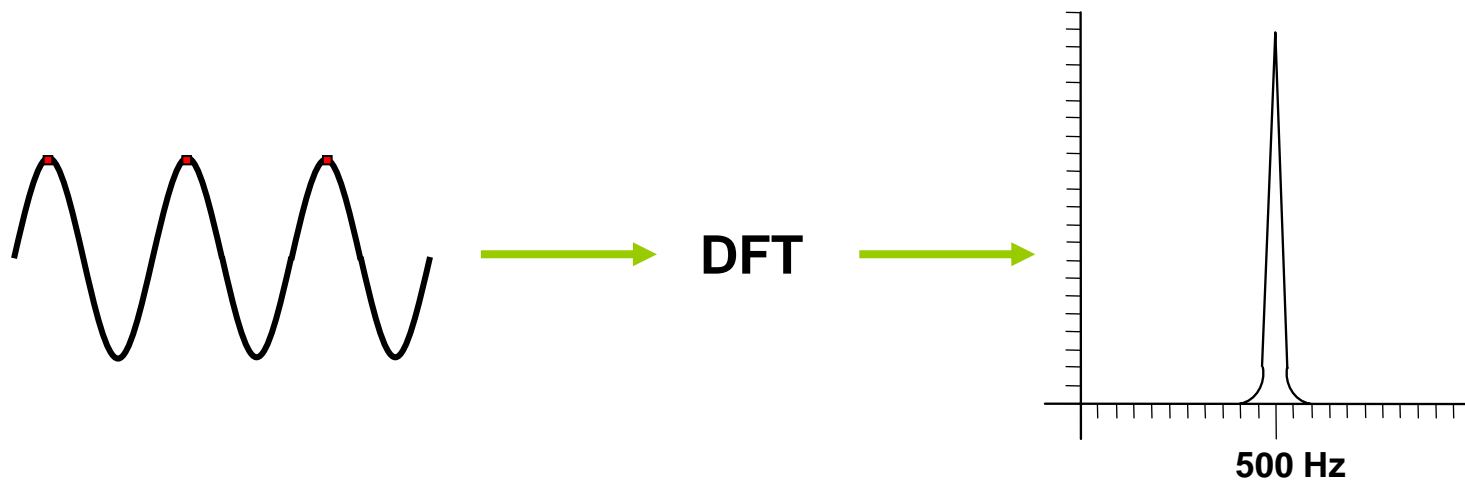
Demostración: Filtro Digital (Software)



Demo 3

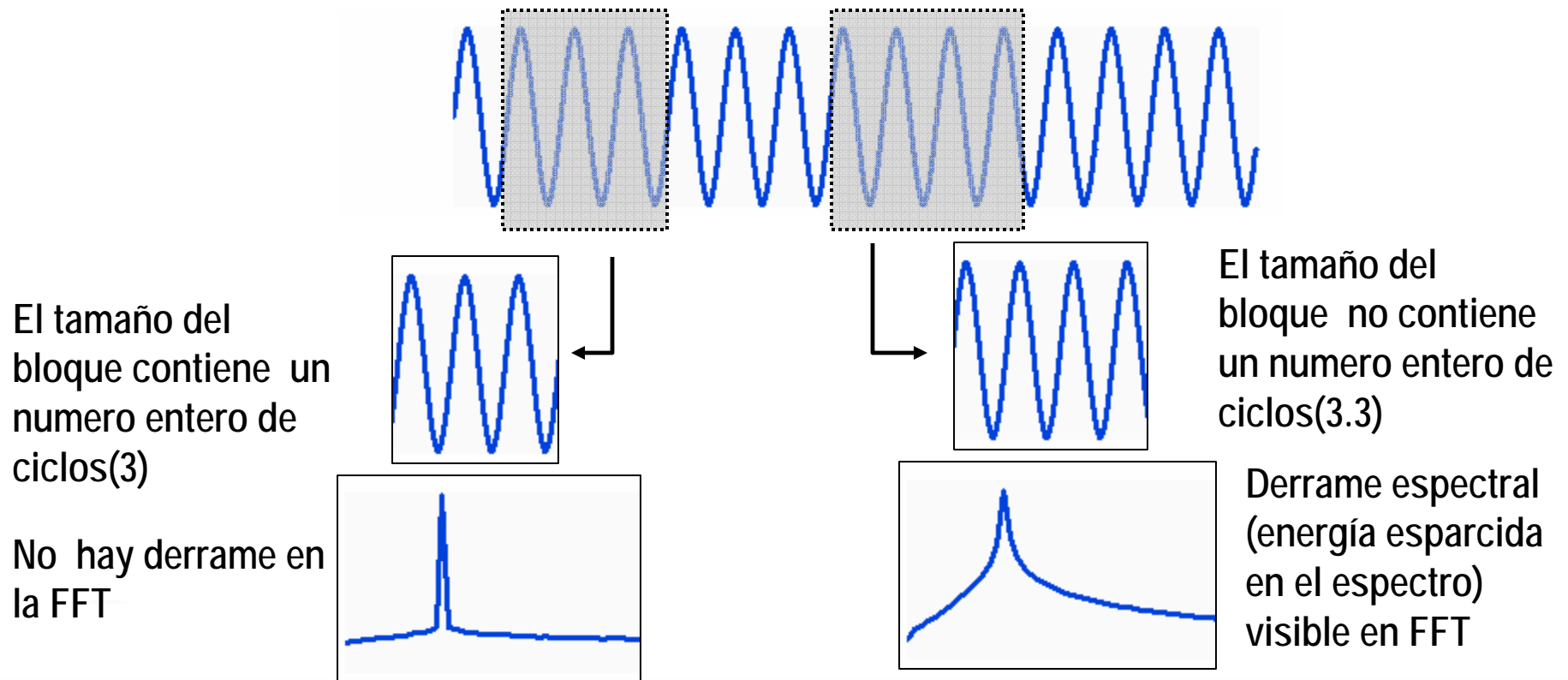
Análisis de Espectro

- Transformada Discreta de Fourier (DFT)
 - Convierte señales discretas en el tiempo al dominio de la frecuencia

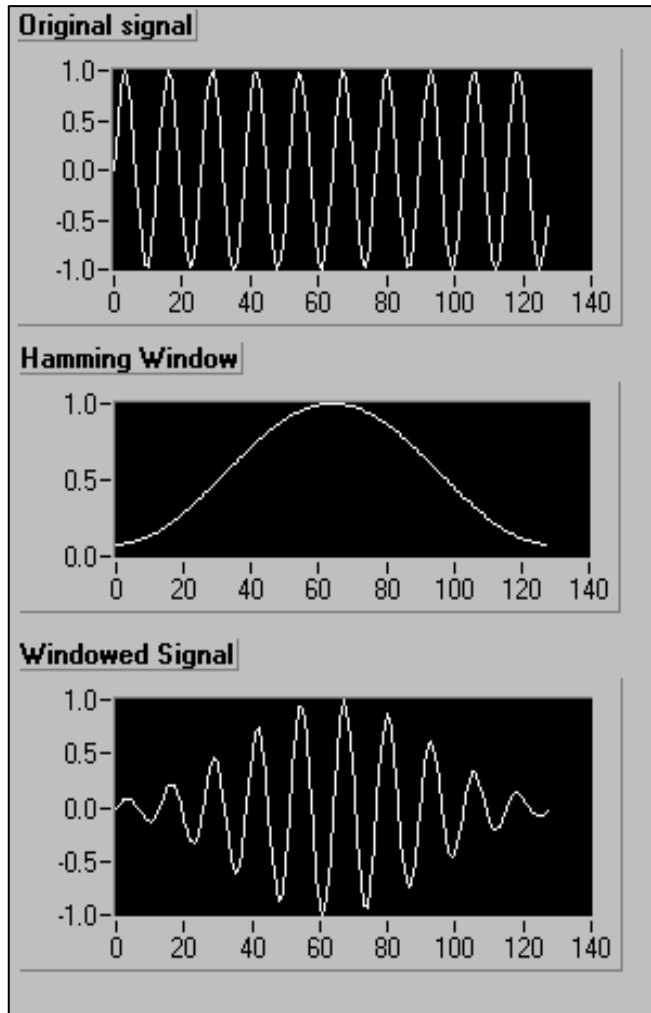


Derrame Espectral

- Una señal que no es muestreada un número entero de ciclos tendrá discontinuidades de alta frecuencia causando derrame espectral
- El derrame espectral altera las mediciones de frecuencia ya que la energía de alta frecuencia en la discontinuidad es esparcida en el espectro de la frecuencia



Reduciendo el Derrame Espectral

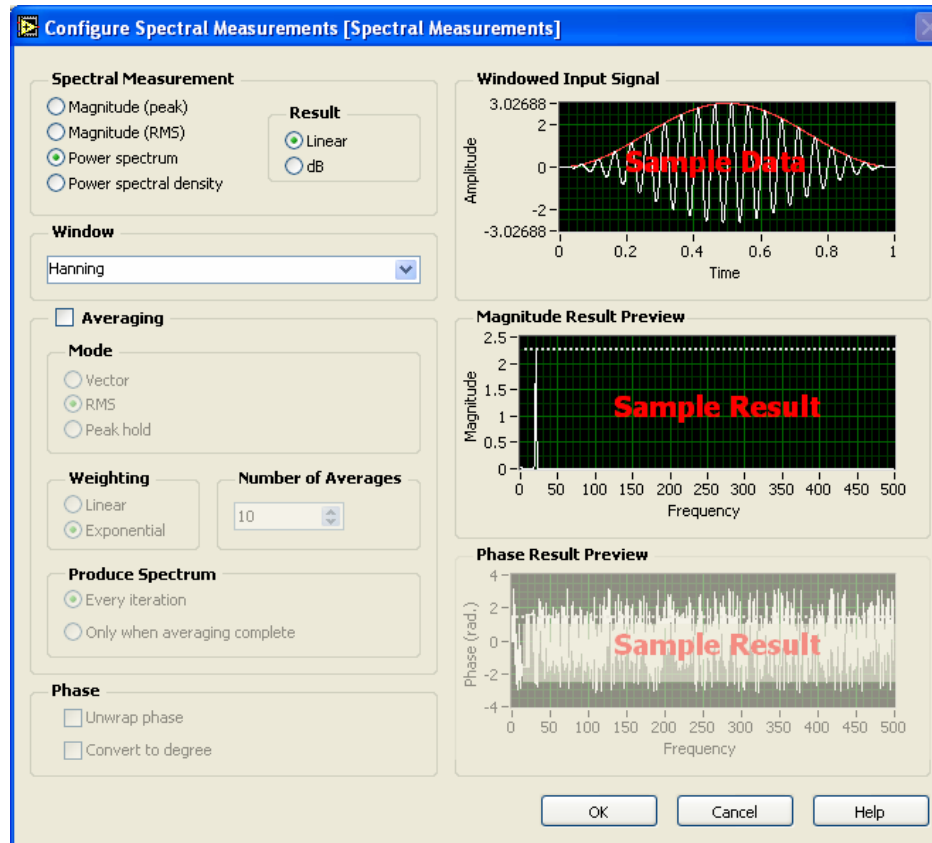


Con ventaneo:

- Enfatiza porciones de la señal mientras elimina las otras
- Minimiza la amplitud de la discontinuidad

*Tip de Monitoreo de Máquinas:
Análisis en frecuencia es útil
para separar las señales de
vibración*

Demostración: Análisis de Frecuencia



Demo 4

¿Qué es el Análisis de Orden?

- La mayoría de las componentes de señal de ruido y vibración están directamente relacionadas a la velocidad de la máquina:
 - Desbalance, falta de alineación, acoplamiento de engranes, defectos de rodamientos, pérdida de acoplamiento
- El análisis de orden normaliza las mediciones a la velocidad rotacional para separar estos componentes de señal.

Relación de Órdenes con Fallas

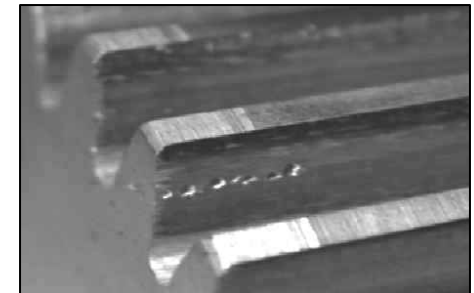
- Podemos diagnosticar las fallas de máquina conociendo el orden:

- Desbalance
- Falta de alineación
- Acoplamiento flojo
- Ruido de válvula
- Defectos/Desgaste de Rodamientos
- Frecuencia de aspas
- Acoplamiento de engranes

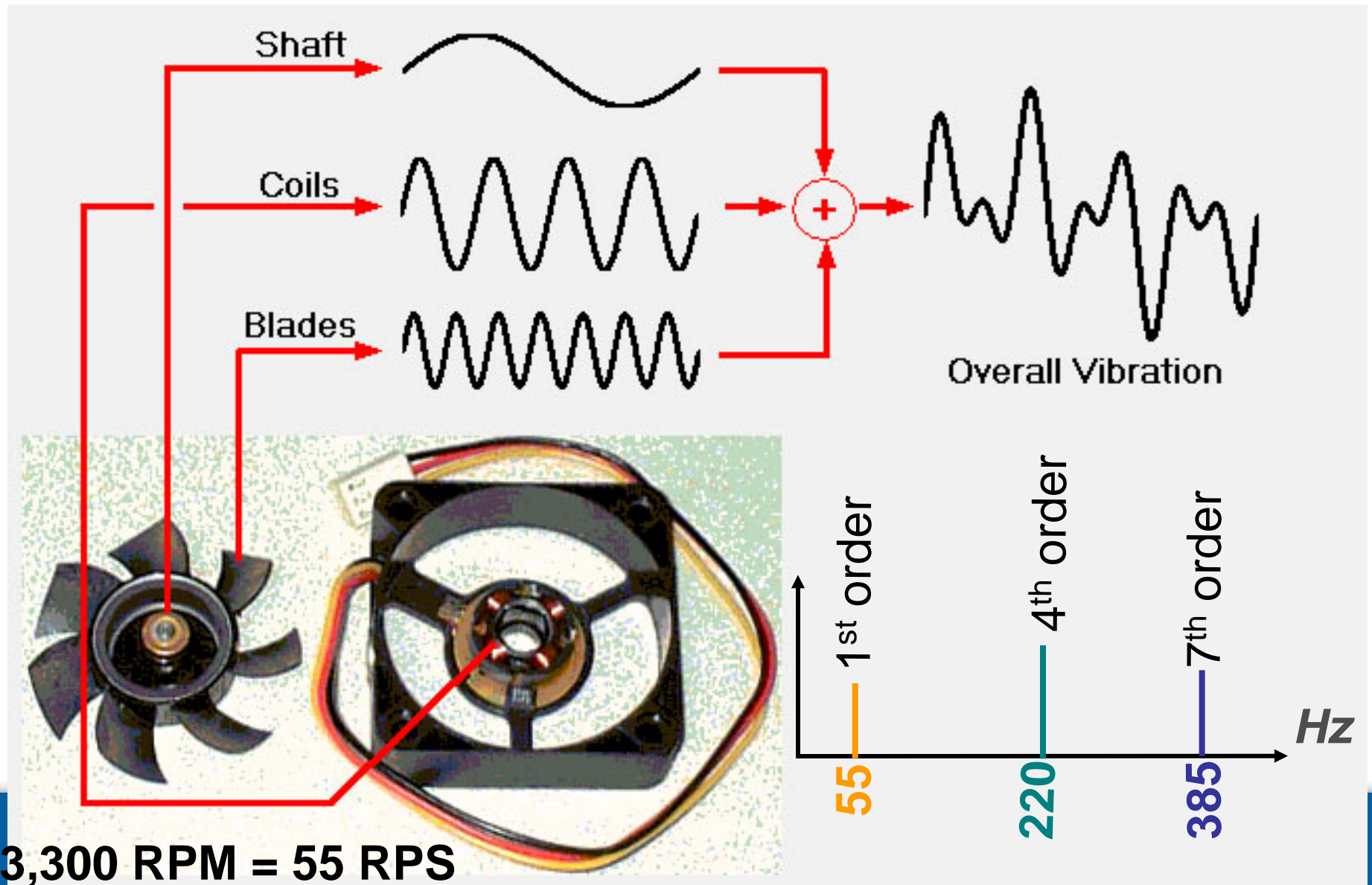
Orden Bajo



Orden Alto

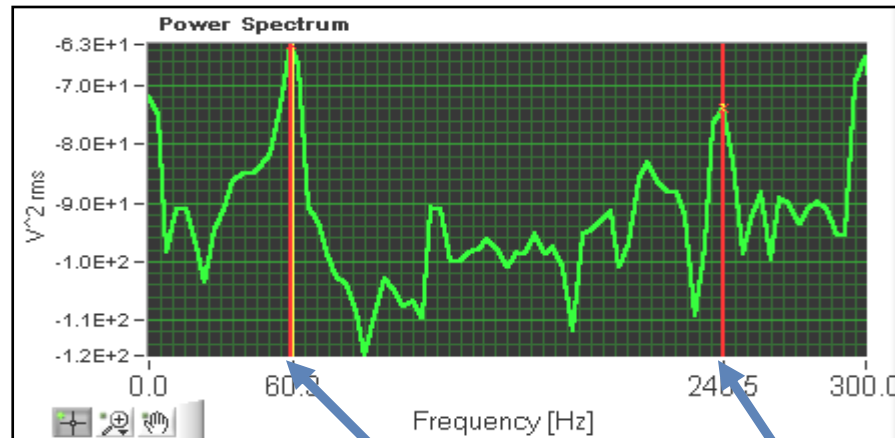


Utilizando Análisis de Orden en Maquinaria

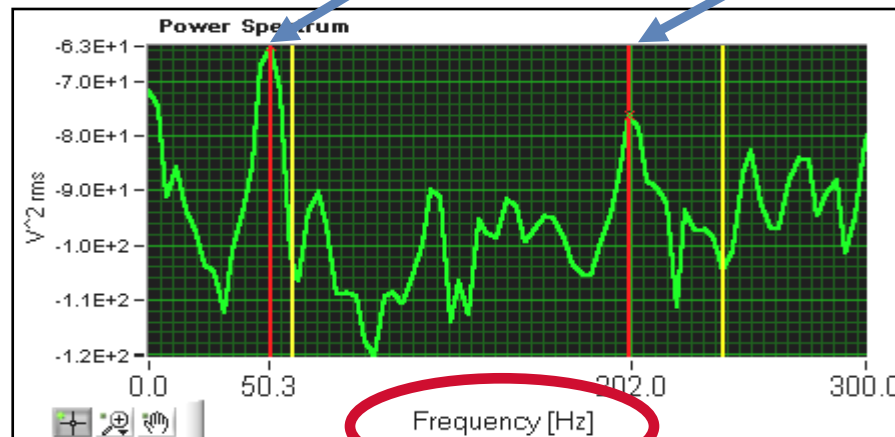


Espectro de Potencia

Velocidad Rotacional:
60 Hz
(3600 RPM)



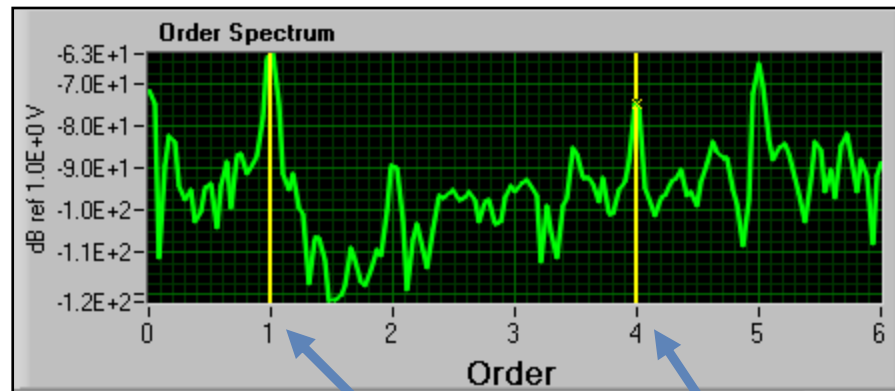
Velocidad Rotacional:
50 Hz
(3000 RPM)



Las
componentes
de frecuencia
se recorren
con el cambio
de velocidad

Espectro de Orden

Velocidad Rotacional:
60 Hz
(3600 RPM)

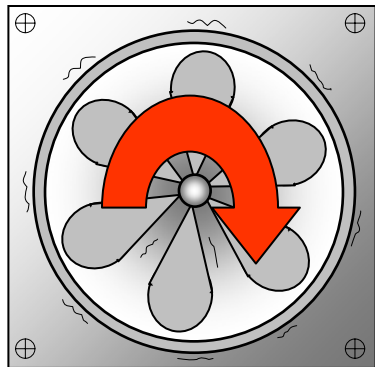


Velocidad Rotacional:
50 Hz
(3000 RPM)



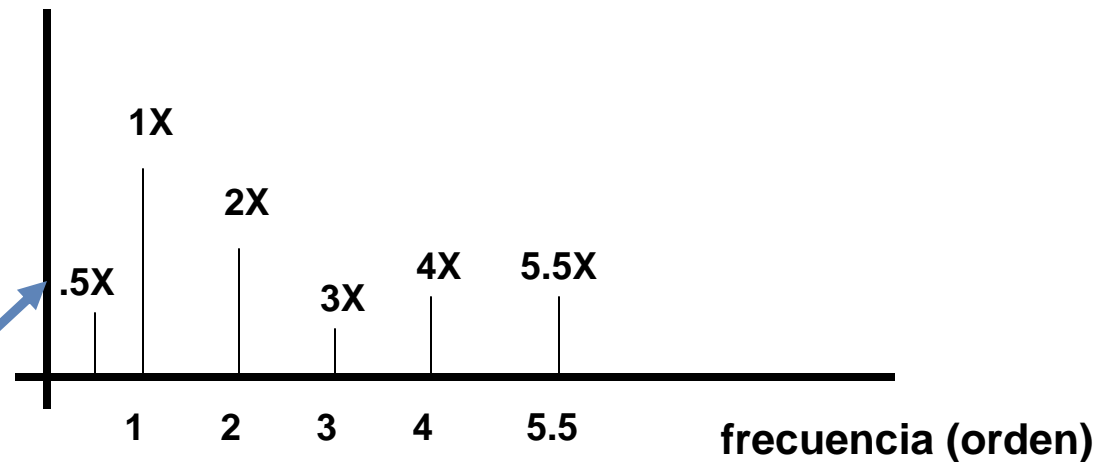
Los componentes
de orden se
mantienen cuando
la velocidad
cambia

De Espectro de Potencia a Espectro de Orden



600 RPM
(10 Hz)

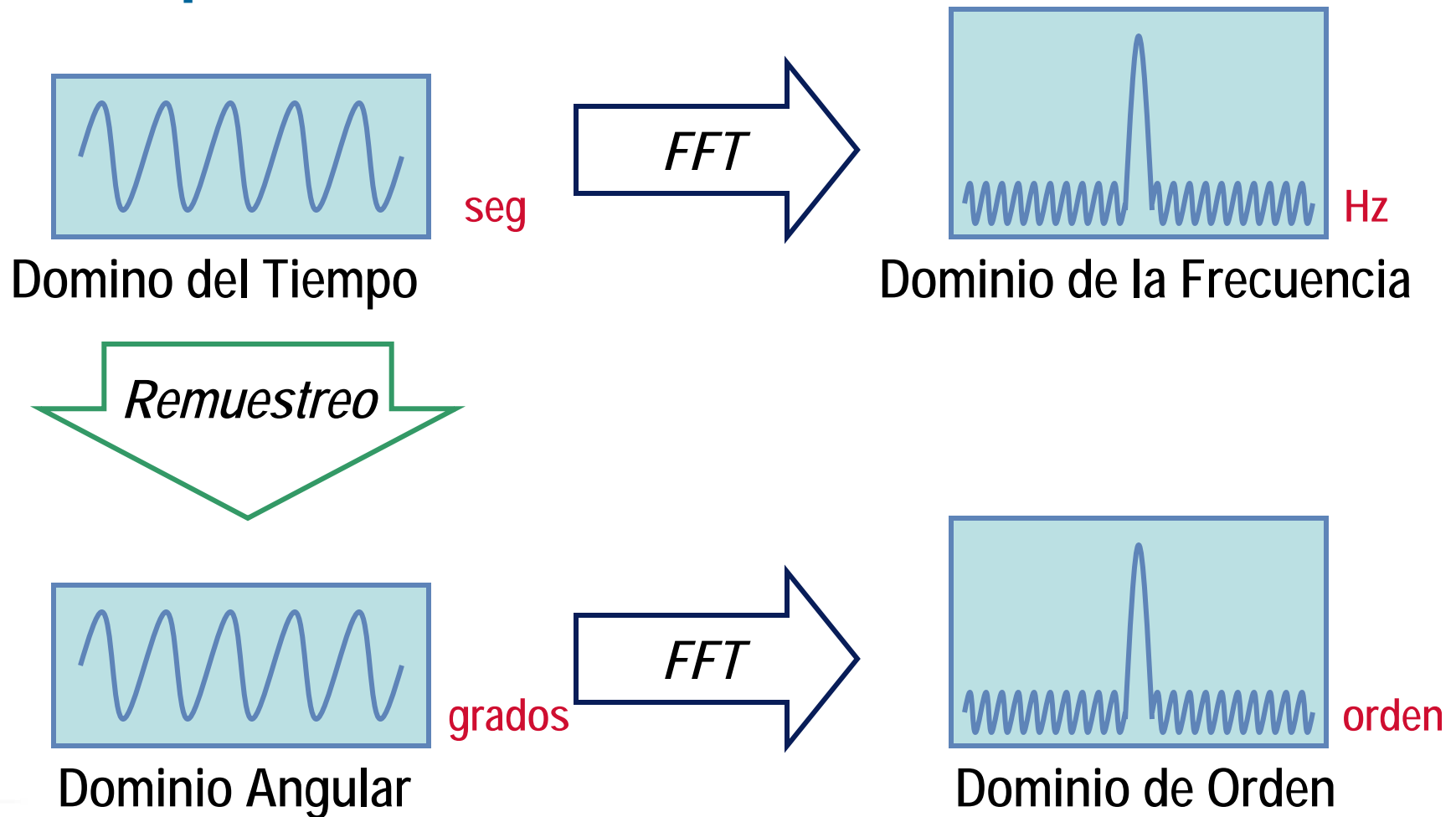
Spectrum of the fan housing vibration,
with the fan running at 600 RPM (10 Hz)



Frecuencia expresada en
términos de múltiplos de
la velocidad rotacional

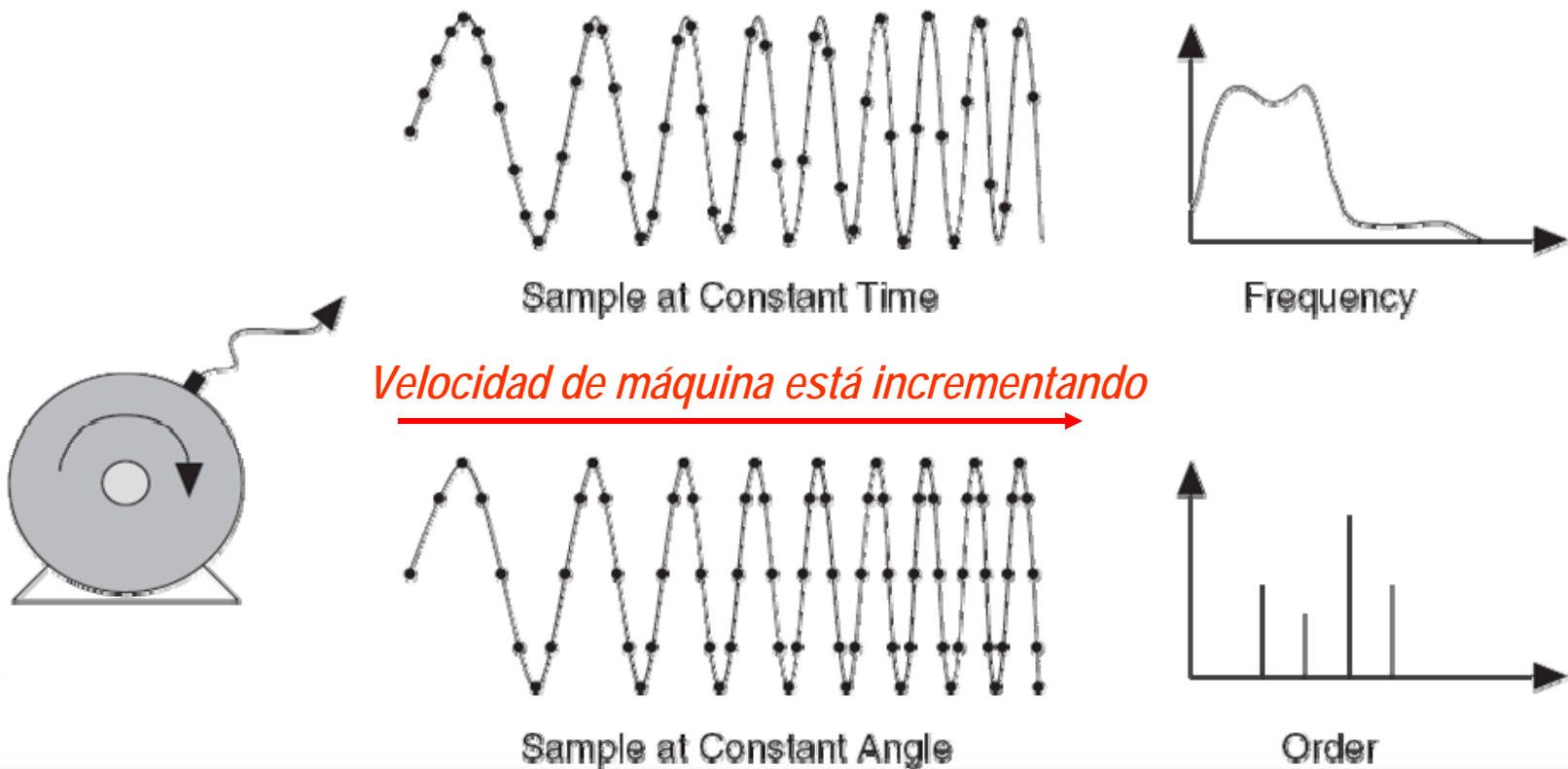
*Tip de Monitoreo de Máquinas: Análisis de
orden es útil para máquinas con variaciones de
velocidad.*

Comprensión de Análisis de Orden

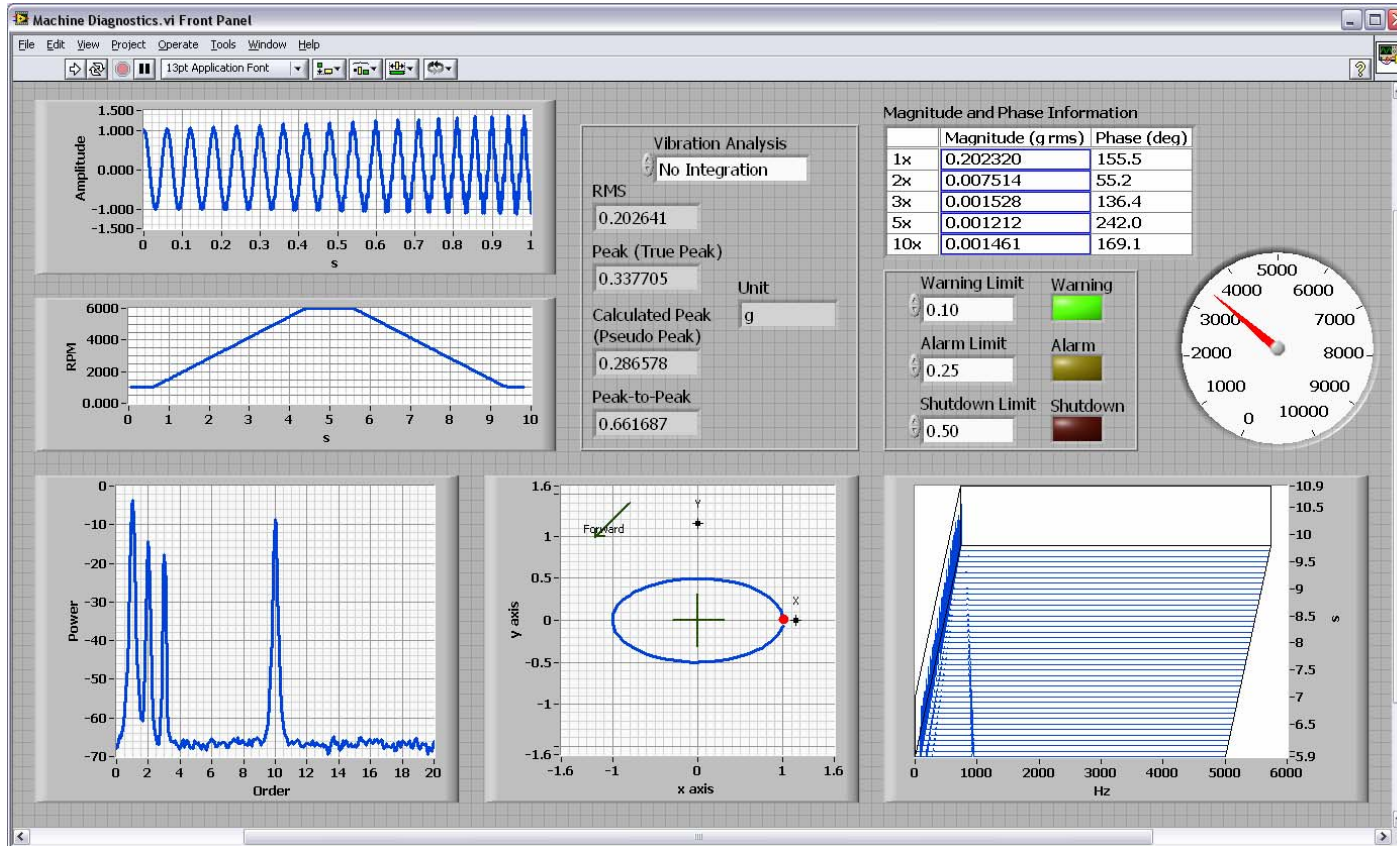


Remuestreo para Cambio de Velocidad de Máquina

- Los datos son convertidos al dominio angular del dominio del tiempo con el uso de una señal de tacómetro (velocidad)



Demostración: Análisis de Orden



Demo 5

FPGAs para Análisis

- FPGA: Arreglo de Compuertas Programables en Campo
- Un chip que consiste de gran cantidad de compuertas lógicas sin configurar
- Beneficios para aplicaciones de análisis
 - La lógica puede ser reconfigurada para crear procesamiento en hardware
 - Ejecución de alto desempeño de algoritmos personalizados
 - Temporización y sincronización precisa

Propiedad Intelectual de Análisis en FPGA

- Butterworth, notch, y filtros personalizados
- Mediciones DC, RMS, y periódicas
- Matemáticas de Punto Fijo
 - Adición, resta, multiplicación, división
 - Raíz, recíprocas
 - Seno, coseno, tangente...
 - Exp, Ln

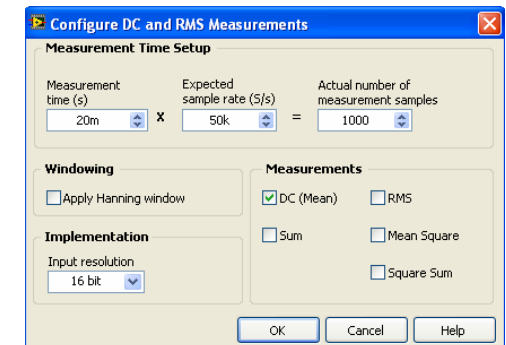
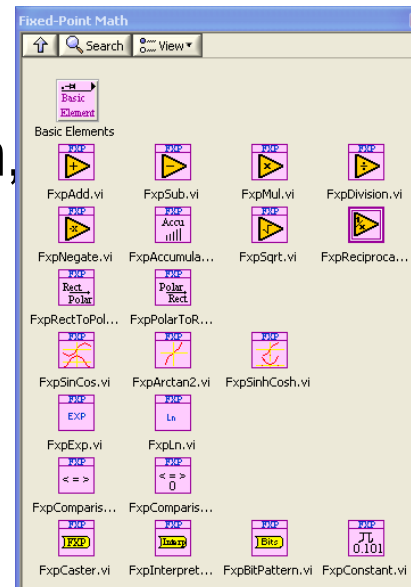
DC and RMS Measurements



Analog Period Measurement



Butterworth Filter



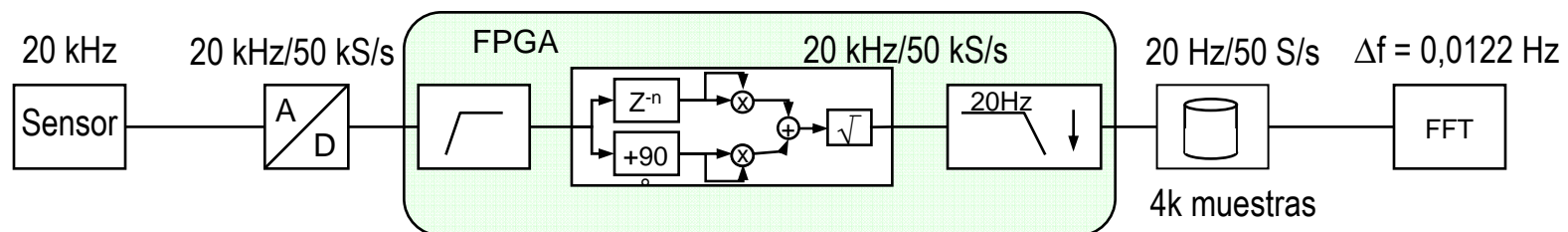
Ejemplo: Monitoreo de Rodamientos



- Algoritmo de análisis en línea (demodulación digital) en FPGA
- Filtrado personalizado en FPGA
- Adquisición de señales a alta velocidad (50 kS/s) simplificada a datos fáciles de manejar a baja velocidad



Demodulación Digital en Línea



Resumen

- Hay 3 componentes principales en un sistema de medición físico
- Monitoreo de máquinas puede prevenir fallas

